

Technická univerzita v Liberci

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

Bakalářský studijní program:

strojírenská technologie

Zaměření:

obrábění a montáž

Metodiky zkoušek obráběcích kapalin a jejich hodnocení
při čelním frézování

Methodics of metalworking fluids probations and their
evaluation in face milling

KOM - 1172

František Kaplan

Vedoucí práce:

Doc. Ing. Jan Jersák, CSc.

Konzultant:

Prof. Ing. Alexey Popov, DrSc.

Ing. Petr Beneš – Paramo, a.s.

Počet stran:

57

Počet příloh:

8

Počet tabulek:

12

Počet obrázků:

22

Zadání BP

Metodiky zkoušek obráběcích kapalin a jejich hodnocení při čelním frézování

ANOTACE:

V bakalářské práci jsou analyzovány dostupné zkušební metodiky pro hodnocení procesních médií včetně jejich popisu a shrnutí poznatků vlivu PK na technologii obrábění. Dále jsou v práci hodnoceny provedené experimenty zkoumající vliv procesních médií na trvanlivost nástroje a kvalitu obrobených součástí při čelním nesousledném frézování. V této BP byly testovány 4 procesní kapaliny a 2 procesní média. Výsledky experimentů prokázaly pozitivní vliv PK na jakost obrobeného povrchu, a u jedné z procesních kapalin (PARAMO EOPS UNI) byl zjištěn pozitivní vliv na trvanlivost nástroje při čelním nesousledném frézování.

Methodics of metalworking fluids probations and their evaluation in face milling

ANNOTATION:

In the bachelor's work accesible probatory methodics for the evaluation of process media are analysed, including their description and summarizing of knowledge of the effect of process fluids on metalworking technology. Further the work evaluates performed experiments researching the effect of process media on tool durability and quality of workpieces in face up milling. In this work 4 process fluids and 2 process media were tested. Results of experiments proved the positive effect of process fluids on the quality of the worked surface, and one of the process fluids (PARAMO EOPS UNI) showed the positive effect on durability of a tool in face up milling.

Klíčová slova: OBRÁBĚNÍ, FRÉZOVÁNÍ, PROCESNÍ KAPALINA

Zpracovatel:

TU, FS v Liberci, KOM

Dokončeno:

2012

Archivní označ. zprávy:

Počet stran:

57

Počet příloh:

8

Počet obrázků:

22

Počet tabulek:

12

MÍSTOPŘÍSEŽNÉ PROHLÁŠENÍ

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou bakalářskou/diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum:

Podpis:

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat panu doc. Ing. Janu Jersákovi, CSc. za cenné rady a připomínky při řešení bakalářské práce.

Také děkuji panu prof. Ing. Alexey Popovovi, DrSc. za cenné rady a pomoc při měření v laboratořích KOM.

Rovněž bych chtěl poděkovat panu Ing. Petru Benešovi za pomoc při konzultaci BP ohledně požadavků firmy Paramo a.s.

Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů	9
Úvod	11
1 Teoretická část	13
1.1 Procesní média	13
1.1.1 Plynné prostředí	13
Vzduch	13
Inertní plyn	14
1.1.2 Kapalné prostředí	14
1.1.2.1 Mlha	14
1.1.2.2 Vodou mísitelné PK	15
Minerální PK	15
Syntetické a polosyntetické kapaliny	16
Speciální kapaliny	16
1.1.2.3 Vodou nemísitelné PK	16
Minerální oleje	16
Syntetické oleje	17
Koncentráty vysokotlakých přísad	17
1.1.3 Tuhá maziva	18
1.2 Přísady	18
Mastné látky	18
Organické sloučeniny S, Cl a P	18
Pevné přísady	19
1.3 Vliv procesního prostředí	19
1.3.1 Účinky PK	19
1.3.2 Mazací účinek	19
1.3.3 Chladicí účinek	20
1.3.4 Čisticí účinek	20
1.3.5 Ochranný účinek	21
1.4 Péče o PK	21
1.4.1 Příprava PK	21
1.4.2 Používání PK	22
1.4.3 Výměna a čištění PK	22
1.5 Zkoušení a analýza PK	23
1.5.1 Analýza PK	23
Zkoušky PK s podílem vody	23

Určení tvrdosti vody	24
Příprava zkušebních vzorků	24
Stabilita emulze	24
Obsah olejového podílu	24
Zkouška na korozivnost	24
Stanovení pH	25
Zkoušky kapalin s olejovou bází	25
Kinematická viskozita	25
Bod vzplanutí	25
Bod tuhnutí	25
Neutralizační číslo	26
Číslo zmýdelnění	26
Obsah popela	27
Pevnost mezní olejové vrstvy	27
1.5.2 Technologické zkoušky PK	27
Metodika zkoušek	27
Konkrétní používané zkoušky	28
Přístroje simulující reálný třecí kontakt	28
Reichert test	28
Four ball tester	28
Timken load tester	29
Ostatní přístroje	30
IVF Smart Quench	30
High pressure testing compatibility test	30
2 Návrh metodiky	32
2.1 Popis a charakteristika použitých PK a obrobku	32
2.1.1 Zkoušené procesní kapaliny	32
PK PARAMO SK 300	32
PK PARAMO ERO SB	32
PK PARAMO EOPS UNI	32
PK PARAMO ERO AW	33
2.1.2 Příprava PK	33
2.1.3 Charakteristika obrobku	33
2.2 Popis použitých strojů, přístrojů a jejich metodika	34
2.2.1 Frézka FNG 32	34
2.2.2 Měření trvanlivosti nástroje v závislosti na použitém PM	35

2.2.3	Externí chlazení	36
2.2.4	Refraktometr	38
2.2.5	Fréza	39
2.2.6	Přístroj Surftest SV-2000	39
2.2.7	Vyměnitelné břitové destičky S30	41
2.2.8	Nástrojová lupa Brinell typ MPB-2	42
2.2.9	Statistické vyhodnocení výsledků měření trvanlivosti nástroje v závislosti na použitém PM	43
2.2.10	Statistické vyhodnocení výsledků měření drsnosti obrobeneho materiálu v závislosti na použitém PM	45
3	Experimentální část	46
3.1	Výsledky měření trvanlivosti nástroje v závislosti na použitém PM	46
3.2	Výsledky statistického vyhodnocení měření trvanlivosti nástroje v závislosti na použitém PM	46
3.3	Výsledky měření drsnosti obrobeneho materiálu v závislosti na použitém PM	47
3.4	Výsledky statistického vyhodnocení měření drsnosti obrobeneho materiálu v závislosti na použitém PM	48
4	Porovnání naměřených hodnot	49
5	Závěr	52
	Seznam použité literatury	55
	Seznam příloh	57

Seznam použitých zkratk a symbolů

Seznam použitých symbolů

A	[mm ²]	plocha otěru
A ₅	[%]	tažnost
a _P	[mm]	šířka záběru
d	[mm]	šířka eliptické plochy
E	[GPa]	modul pružnosti v tahu
F	[mm/min]	posuv
G	[1kp÷1000g]	tíha zvoleného závaží
HV ₁₀	[-]	tvrdost dle Vickerse
L	[mm]	délka eliptické plochy
N	[ot./min]	otáčky vřetena
pH	[-]	vodíkový exponent
Ra	[μm]	průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu
R _m	[MPa]	mez pevnosti
R _{p 0,2}	[MPa]	smluvní mez kluzu
S _z	[mm/min]	posuv na zub
T	[min]	trvanlivost nástroje
ÚMF	[kp/cm ²]	únosnost mazacího filmu
v _c	[m/min]	řezná rychlost
Z	[%]	kontrakce

Seznam použitých zkratk

ARA	anizotermický rozpad austenitu
ASTM	americká národní norma (American Society for Testing and Materials)
BP	bakalářská práce
BS	britská národní norma (British Standard)
ČSN	česká státní norma
DEA	diethanolamin
DIN	německá průmyslová norma (Deutsche Industrie Norm)
EN	evropská norma
H ₂ S	sirovodík
HC	hydrokrakový olej
ISO	mezinárodní organizace pro standardizaci
KOH	hydroxid draselný
KOM	katedra obrábění a montáže

MgO	oxid hořečnatý
MQL	Minimal Quantities of Lubricant (minimální množství kapaliny)
PCB	polychlorované bifenyly
PCT	polychlorované terfenyly
PK	procesní kapalina
PM	procesní médium
VBD	vyměnitelná břitová destička

Úvod

Procesní kapaliny (PK) mohou díky svým chemickým i mechanickým vlastnostem proces obrábění významně ovlivnit. Účinky PK bývají ve větší míře pozitivní, ale existují i účinky negativní, které se snažíme volbou vhodných přísad minimalizovat. Hlavním požadavkem, kladeným na PK, je aby účinně zlepšovaly trvanlivost nástrojů i jakost obrobeného povrchu [6]. Díky svým fyzikálním vlastnostem mohou PK v těchto, i jiných parametrech dosáhnout lepších výsledků nežli tomu je při obrábění bez použití PK, při tzv. obrábění „na sucho“. Mezi nejdůležitější faktory, které dokážou vhodně ovlivnit proces obrábění, patří zvýšený odvod tepla oproti obrábění „na sucho“. Během procesu obrábění se většina dodané práce mění na teplo. Součástí tohoto procesu je přeměna kinetické energie na jiné formy energie. Teplo vzniká především jako důsledek plastické deformace v oblasti oddělování třísky nebo při tření třísky po čele nástroje a mezi třískou a obrobkem v oblasti tření hřbetu. Zbylá energie se transformuje na energii elastickou [15].

Teplo a tlak patří mezi hlavní činitele způsobující vznik nárůstku na nástroji a je jednou z nejpodstatnějších příčin jeho postupného otupení. Pokud se daří místo řezu účinně chladit, podstatně se tím snižuje opotřebení řezného nástroje. Díky tomu lze změnit řezné podmínky (oproti obrábění „na sucho“) tak, aby se urychlila tedy i zefektivnila výroba, aniž by docházelo k výraznému zkrácení trvanlivosti nástroje. Velmi významným faktorem je i mazací schopnost PK. Ta má příznivý vliv na jakost povrchu obráběné součásti a také podstatně snižuje řezný odpor. Tím se snižuje výkon potřebný pro danou operaci obrábění, který se mění v nežádoucí teplo. Kromě mazacích a chladících schopností mají PK řadu dalších vhodných vlastností, jako jsou například její konzervační schopnosti, které mají spíše krátkodobý význam. Nelze také opomenout, že PK mohou pomáhat s odvodem třísky z místa řezu a tak zbavovat třecí plochy nečistot.

Důležitý je také výběr samotné PK podle potřeb konkrétní používané technologie. Proces obrábění je velice složitý, má na něj vliv spousta faktorů a proto ho nelze jednoduše a jednoznačně popsat. Při provedených výzkumech v minulosti se ukázalo, že pro každou použitou technologii je nejvhodnější jiná procesní kapalina [6]. V praxi se ale často procesním kapalinám nevěnuje potřebná pozornost a velké množství podniků používá PK spíše podle tradice a zkušeností získané pomocí dosavadní praxe. To může vést k ne hospodárnosti výroby a většímu opotřebení strojů i nástrojů [6]. V určitých případech je ale snaha o vytvoření univerzálních procesních kapalin z důvodů snížení nákladů na samotné PK, proto je nutné dosáhnout určitého kompromisu.

Díky velkému množství faktorů ovlivňujících proces obrábění je nutné provádět velké množství experimentů, abychom docílili lepšího pochopení dané problematiky. Součástí řešení bakalářské práce bylo shromáždit informace o různých metodách hodnocení PK včetně jejich popisu, a provedení některých praktických zkoušek viz cíle BP.

Cílem této BP je:

- a) požadavkem zadavatele BP (Paramo, a.s.) bylo provedení rešerše dostupné literatury zabývající se hodnocením vlivu PK na technologii obrábění a literatury zabývající se zkušebními metodami hodnocení PK,
- b) porovnání a vyhodnocení zkušebních metod pro ověření vlivu procesních kapalin na proces obrábění.

Dílčí cíle byly:

- navržení postupu měření PK, vhodného pro společnost Paramo, a.s.,
- realizace zkoušek a vyhodnocení výsledků měření trvanlivosti nástroje v závislosti na použitém procesním prostředí při nesousledném frézování,
- realizace zkoušek a vyhodnocení výsledků měření drsnosti obrobeného materiálu v závislosti na použitém procesním prostředí při nesousledném frézování.

1 TEORETICKÁ ČÁST

1.1 Procesní prostředí

Procesní médium je důležitý faktor, který ovlivňuje proces obrábění. Efekt dosažený aplikací rezného prostředí se dá rozdělit do dvou základních skupin, a to podle účinků na chladicí a mazací. Mezi nejdůležitější úkoly procesního prostředí patří odvádění tepla z místa jeho vzniku, snížení třecí práce, snížení intenzity otupování nástroje, zlepšení jakosti obrobené plochy a odvod třísky z místa řezu. Přírodním procesním médiem je vzduch, který se běžně nachází v atmosféře, a tudíž se nemusí nijak dodávat do místa řezu ani upravovat. Proto je toto procesní médium nejjednodušší, ale zdaleka nedosahuje výhodných chladicích i mazacích schopností uměle vytvořených médií. Kromě vzduchu existují již zmíněné uměle vytvořené procesní média, které jsou popsány v následujících kapitolách, a jejich rozdělení je vyobrazeno viz tab. 1.

Tab. 1. Obecné rozdělení typů procesního prostředí [11]

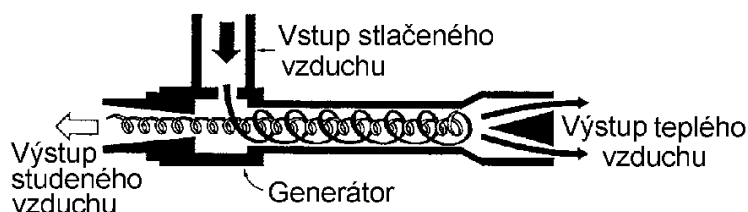
Rozdělení procesního prostředí		
Skupina	Podskupina 1	Podskupina 2
Plynné	Vzduch Interní pln	
Kapalné prostředí	mlha	
	Vodou mísitelné	Minerální Polosyntetické Syntetické Speciální
	Vodou nemísitelné	Rostlinné Syntetické Minerální Koncentráty vysokotlakých přísad
Tuhá maziva		

1.1.1 Plynné prostředí

Vzduch

Toto přirozené procesní médium je jedno z nejběžnějších vůbec, jeho nespornou výhodou je žádné nebo minimální úsilí pro jeho vytvoření. Úsilí musíme vytvořit pouze v případech, pokud je vzduch např. stlačován a používán na ofukování nástroje a obrobku za účelem chlazení místa řezu a jeho očištění od nežádoucích třísek. Pro zvýšení chladicího účinku je možné vzduch také podchladiť, k tomu je nutné použít speciálního zařízení např. Rangu-

ho – Hilschovy vírové trubice, jež je vyobrazena na obr. 1. Při použití tohoto procesního prostředí mluvíme a tzv. obrábění „na sucho“ [13].



Obr. 1. Princip Ranguého – Hilschovy vírové trubice [13]

Inertní plyn

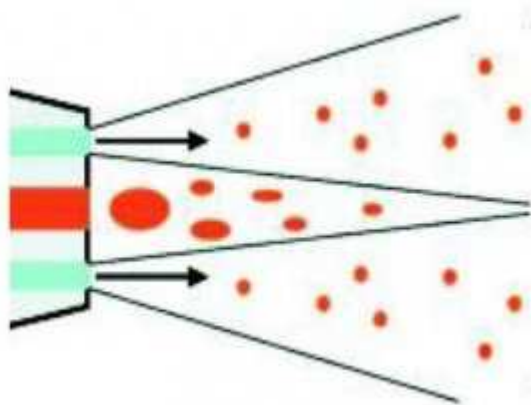
V praxi je inertní plyn používán jen výjimečně. V minulosti byly jakési pokusy prozkoumat tuto možnost. Nejčastěji byl přiváděn stlačený plyn z tlakové nádoby do místa řezu za účelem ochlazení místa řezu a zamezení nevhodných chemických reakcí jako je například oxidace. Tato metoda se však ukázala za dosti drahou a náročnou z důvodu nutné úpravy strojů.

1.1.2 Kapalné prostředí

Je to hojně využívané procesní prostředí, které má obecně oproti plynnému daleko lepší mazací i chladicí schopnost. Tekutá maziva se dělí na dvě hlavní skupiny a to na vodou mísitelné, a vodou nemísitelné procesní kapaliny. Tyto skupiny se dále dělí (viz tab. 1).

1.1.2.1 Metoda MQL (mlha)

Jedná se o metodu minimálního množství PK. Jde o možnou alternativu emulzních olejů. Díky minimálnímu množství použité PK (při optimálním seřízení dokonce méně než 50 ml/hod) se značně sníží zdravotní rizika pro obsluhu stroje i šetrnost k životnímu prostředí. Pokud je používán kvalitní mikromazací systém nedochází ke vzniku odpadu z použité PK, jelikož se cca 70-80% PK spotřebuje v místě řezu a zbytek zůstává na obrobku jako ochrana proti korozi, což. Tím odpadají značné náklady s likvidací staré PK. O mikromazání můžeme hovořit, pokud je PK dopravována na místo řezu pomocí tlakového vzduchu ve formě aerosolu. Tato metoda je vhodná především pro operace vrtání, vystružování a řezání závitů do oceli, šedé litiny nebo slitin hliníku. Nevýhodou této technologie se jeví především zbytky PK zůstávající na obrobku, na kterých ulpívají okolní nečistoty [2], [4].



Obr. 2. Tvorba aerosolů v koaxiální trubce

1.1.2.2 Vodou mísitelné procesní kapaliny

Tzv. emulze jsou, tvořeny z velké části vodou, velmi často se jedná o emulze typu „olej rozpuštěný ve vodě“. Voda je nejčastěji v PK obsažena v koncentraci 90-99%. Naopak PK typu „voda rozpuštěná v oleji se v praxi tolik nevyužívá. Voda je nejlevnější a nejdostupnější surovinou, která má mimo jiné i několik pozitivních vlastností pro danou problematiku. Mezi nejdůležitější vlastnost patří velmi dobrý odvod tepla daný velkou tepelnou kapacitou vody a již zmiňovaná cena PK, jež je o mnoho nižší než čistých řezných olejů. Bohužel surová voda má i spoustu negativních vlastností, které nedovolují použít samotnou vodu jako procesní kapalinu. Surová voda má totiž vysokou tvrdost, tedy velký obsah různých solí způsobující na kovovém povrchu těžko odstranitelné usazeniny, které zalepují funkční plochy strojů. Mimo to vznikají mýdla, ty vedou v PK k pěnění a to má za následek snižování chladicího účinku. Dalším velkým problémem způsobeným vodou je její korozní účinek na železo. Voda nemá ani dostatečné mazací schopnosti, které by pomohly snížit tření při procesu obrábění, její nízký bod varu způsobuje nežádoucí nadměrné odpařování. Vysoké povrchové napětí má za důsledek špatné smáčení kovů a odmršťování kapek z horkých ploch což snižuje chladicí účinek. Proto je nutné zajistit formou různých přísad, viz následující kapitoly, potřebné mazací, chladicí i jiné potřebné vlastnosti. Potom finálně dostáváme vodný roztok [6]. Dalším nezanedbatelným negativním účinkem způsobeným přítomností vody v PK je fakt, že voda představuje velmi dobré životní prostředí pro mikroorganismy. Proto je nutné věnovat vodou mísitelným PK daleko větší péči než je tomu u „čistých“ řezných olejů, velmi na tom závisí jejich životnost [4], [6].

Minerální kapaliny

„Minerální“ kapaliny se řadí svým charakterem mezi koloidní, heterogenní, tedy nepravé roztoky dvou nebo více látek těžko mísitelných nebo nemísitelných. Olejová část je u těchto PK ve formě drobných kapiček o velikosti 10^{-7} až 10^{-9} m rozdispergovaných ve vodě. Emulgátory jsou přísady měnící povrchové napětí oleje a zajišťující stabilní disperzní prostředí pro olej rozptýlený ve vodě [4], [6].

Syntetické a polosyntetické kapaliny

Jsou to průhledné kapaliny na bázi polyglykolů a esterů, které neobsahují olejovou složku, (syntetické kapaliny) a nebo jen její malé množství (polysyntetické kapaliny). Za polosyntetické kapaliny označujeme ty, které obsahují 5-30% minerálního oleje [20]. Tyto PK patří mezi poměrně nové druhy kapalin ředitelných vodou. Dříve se jich využívalo jen zřídka z důvodů její vysoké ceny. Mají vlastnosti jako kapaliny emulgační, ale liší se především svojí vyšší stálostí proti působení bakterií. Také mají menší negativní vliv na životní prostředí. Syntetické a polosyntetické kapaliny se většinou používají pro operace broušení. Jsou vhodné pro operace s velkou řeznou rychlostí. Na rozdíl od PK založených na ropném základě je možné předem určit jejich fyzikální vlastnosti [20].

Speciální kapaliny

Jsou to kapaliny určené pouze pro určitou specifickou oblast použití. Tyto kapaliny se používají jednoúčelově pro neobvyklé typy obrábění.

Vodou nemísitelné procesní kapaliny

Nazývané také jako řezné oleje. Jsou vhodné pro dokončovací operace typu honování a lapování, kde jsou poměrně nízké řezné rychlosti a kde se vyžaduje vysoká jakost povrchu. Řezné oleje mají oproti vodou mísitelným PK řadu výhod. Absence vody eliminuje korozi a také velmi snižuje riziko vzniku a rozšíření bakterií v mazivu, mají velmi dobrou mazací schopnost, dobrý chladicí účinek (avšak nižší chladicí účinek než u vodou mísitelných PK), také PK vodou nemísitelné nemají problémy s korozí ani s narušováním strojních součástí, které se s ní dostanou do styku, s tím souvisí i další pozitivní vlastnost a to snášenlivost s ostatními, nejčastěji mazacími oleji, které mohou PK znečistit od okolních strojních součástí. Velkou výhodou také je fakt, že cena po zušlechťení olejů není o hodně vyšší. Proto se hojně používají různé přísady, které se dají rozdělit do tří základních skupin (viz kapitola přísady):

- mastné látky,
- organické sloučeniny S, Cl a P,
- pevná maziva.

Tyto látky rostlinného původu mají dobrý mazací a řezný účinek. Oproti ropným olejům rychleji stárnou a díky tomu dochází k vylučování látek živočišného původu, tím i zvýšení viskozity. Při obrábění s pomocí těchto PK vznikají kovové mýdla, které mají příznivý vliv na proces obrábění. Bohužel vzniklá mýdla mají poměrně nízký bod hoření, a proto se používají jen do omezené řezné rychlosti cca $v_c = 30$ m/min [22].

Minerální oleje

Hlavní složkou minerální kapaliny je, minerální těž zvaný ropný olej [3]. Minerální olej se získává frakční destilací ropy. Je to průhledný bezbarvý olej složený především s alkanů (typicky s 15 až 40 atomy uhlíku v molekule) a cyklických parafínů. Jeho velkou výhodou

je vysoká dostupnost a nízká cena, proto jsou minerální oleje vyráběny ve velkých množstvích.

Vyznačují se dobrou mazací schopností ale horším chladicím účinkem. Mají velmi dobrou odolnost proti stárnutí a velmi dobrý ochranný účinek. Nepodléhají bakteriálnímu rozkladu.



Obr. 3. Nové typy HC olejů [9L]

Syntetické oleje

Syntetické oleje jsou založeny na bázi polyglykolu. Mezi jejich kladné vlastnosti bezesporu patří jejich dlouhá životnost, která je mimo jiné způsobena faktem, že v PK nedochází k bakteriálnímu rozkladu. Z toho částečně vyplývá i jejich zdravotní a ekologická nezávadnost, na kterou je v poslední době kladen vyšší důraz. Další výhodou syntetických olejů jsou poměrně vysoké body jak vzplanutí, tak i tuhnutí, což může usnadnit proces obrábění [4],[6], [20].

Koncentráty vysokotlakých přísad

Tyto koncentráty se používají ve směsi s jinými PK, zpravidla ropnými oleji. Jedná se o různé koncentrace v závislosti na podmínkách vznikajících při obrábění. Koncentráty vysokotlakých přísad mají velký vliv na tvoření nárůstku. Aktivní látky obsažené v koncentrátu se vážou na kovový povrch nástroje i obrobku a zabraňují přímému styku „kov na kov“ a tím i samotné tvorbě nárůstku. Bohužel tyto aktivní látky jako je například chlor zvyšují účinky koroze a proto je vhodné po skončení operace očistit stroj, popřípadě nakonzervovat obro-

bek. Tyto PK se nejčastěji používají při výrobě závitů, výrobě ozubení při řezných rychlostech okolo 2-20m/min [6],[20].

Viz kapitola Organické sloučeniny S,Cl a P.

1.1.3 Tuhá maziva

Jsou v praxi využívána poměrně málo, většinou se jedná o různé brusné pasty apod. Této metody se nejčastěji používá při drobných ručních pracích.

1.2 Přísady (*aditiva*)

Jsou to látky přidávané do jiných látek nebo směsí za účelem zlepšení či změny jejich vlastností v našem případě se jedná o zlepšení vlastností PK a to jak mechanických, jako například přenos vysokých tlaků vznikajících v PK, tak i chemických vlastností, jako je chemická stálost PK.

Mastné látky

Do této skupiny patří zmýdelnitelné mastné oleje, mastné kyseliny nebo syntetické estery [6]. Pomocí těchto látek dojde k značnému zvýšení přilnavosti oleje ke kovu, zvyšuje se tím tak mazací schopnost PK, což snižuje tření. Bohužel tyto příznivé vlastnosti nevznikají při vysokých tlacích. Proto se nejčastěji mastné látky používají v kombinaci s ostatními přísadami. Většinou se prvky přísad do PK vnášejí pomocí oxidací, chlorací nebo sířením. Díky tomu se docílí lepšímu přenášení vysokých tlaků vznikajících při procesu obrábění.

Organické sloučeniny S, Cl a P

Tato skupina obsahuje organické prvky (síru, chlór, fosfor), jejichž velkou předností je přenášení vysokých tlaků vznikajících v PK během obrábění. Během odřezávání třísky při obrábění se s výhodou využívá fakt, že povrchy nástroje i třísek jsou kovově čisté, tedy bez jakékoliv oxidace. Vzniká mikroskopická vrstva kovových mýdel. Tato vrstva má za úkol chránit nástroj, jak už bylo popsáno v kapitole koncentráty vysokotlakých přísad. Sloučeniny obsahující chlór snižují tření více nežli síra, síra má však tu výhodu, že její účinnost klesá až u teploty 800°C na rozdíl od chlóru, který svou účinnost ztrácí již při teplotě 400°C. Sloučeniny s fosforem jsou ještě účinnější. Během výzkumu a vývoje se však ukázalo, že nejlepší řešení je kombinace všech těchto tří prvků, popřípadě jenom chlóru a síry. Přísady musí být vybírány velmi pozorně, musí být rozpustné v minerálním oleji, nesmějí nepoměrně zkracovat jeho pracovní stabilitu, nesmějí být za běžných podmínek korozivní a nesmějí být ani zdravotně závadné. Což vylučuje někdy často velmi účinné PK [4], [6], [20].

Pevné přísady

Pevná maziva, která se také uvádějí mezi přísadami do řezných olejů, působí na povrch kovu mechanickým účinkem. Svou afinitou ke kovu vytvoří tato maziva mezní vrstvu, odolnou proti tlakům, a zlepšují tak mazací schopnost oleje [6]. Mezi nejčastější přísady z kategorie pevných maziv patří například grafit nebo sirník molybdeničitý. Mají však jednu velkou nevýhodu, a to nerozpustnost pevných přísad v PK, z toho vyplývá fakt, že pokud mají být PK dostatečně účinné, musí se pevné částice udržovat v koloidním (rozptýleném) stavu. Bohužel toto je dosti náročné a tudíž i nákladné dodržet vzhledem k velké měrné hmotnosti přísad (pevných částic). Právě z důvodů velké nákladnosti se tento druh přísad v praxi moc nerozšířil.

1.3 Vliv procesního prostředí

Na prostředí, v němž se nachází třecí jednotka, se můžeme dívat jako na čtvrtý třecí prvek vedle dvou třecích povrchů a maziva [17]. Procesní prostředí ovlivňuje proces obrábění velmi mnoha různými faktory, které mají na tento proces různé účinky. Některé faktory nejsou dodnes úplně zmapovány, proto se v praxi zabýváme těmi nejvíce důležitými. Nejhlavnějšími účinky v procesu obrábění jsou určitě tyto: chladicí a mazací. Tyto dva účinky mají hlubší význam než pouze chladicí a mazací, protože ovlivní celý proces tvorby třísky a s ním spojené silové účinky vznikající v průběhu obrábění apod. Kromě těchto dvou základních účinků se někdy uplatňují i další, tzv. účinek „řezací“ a účinek čistící [4].

1.3.1 Účinky PK

PK mají na proces obrábění podstatný vliv, který může mít za následek zkvalitnění a zlevnění výroby. Hlavním úkolem PK je umožnit obrábět při největší hospodárnosti. To znamená především zajistit trvanlivost nástrojů a jakost obráběného povrchu při malé spotřebě energie [6]. Účinků spojených s použitím PK je mnoho, mezi ty nejzásadnější pak patří chladicí, mazací a čistící. Ovšem každá technologie má své specifika a klade jiný důraz na jednotlivé účinky.

1.3.2 Mazací účinek

Podmínkou účinného mazání je vytvoření vrstvy PK bránící přímému styku kovových povrchů. Tato vrstva musí odolávat tlakům vznikajícím při obrábění. Tím se podstatně snižuje tření mezi nástrojem a obrobkem a mezi nástrojem a třískou. Velikost tlaků při obrábění je bohužel moc velká na to, aby docházelo ke tření pouze kapalinnému. Avšak pokud má kapalina dostatečnou přilnavost (afinitu), nebo v lepším případě pokud se k obrobku váže chemicky a její mikroskopická mezní vrstva má malý součinitel tření a může tak být zajištěno mezní tření. Nižší tření znamená i menší řezný odpor. To snižuje potřebný výkon stroje

a především energii spotřebovanou při obrábění. Menší tření se projeví i v plynulejším chodu stroje a lepší kvalitě obráběného povrchu, proto je mazací účinek zásadní hlavně pro dokončovací operace. Důležitá je také viskozita PK vyšší viskozita znamená lepší pevnost mezní vrstvy, ale snižuje se její možnost pronikat do míst, kde dochází ke tření a navíc klesá množství odvodu tepla. Nezanedbatelná je i tepelná ztráta způsobená odvodem PK ulpělé na třískách. Mazací účinek se dá velmi těžko vyjádřit a záleží především na mechanických vlastnostech mezní vrstvy [4], [6], [20].

1.3.3 Chladicí účinek

Chladicí účinek udává schopnost kapaliny odvádět teplo vyprodukované při obrábění z místa řezu. Velikost tepla vznikajícího v místě řezu je závislé na řezných podmínkách, jako je řezná rychlost tloušťka třísky mechanické vlastnosti materiálu apod. Vzhledem k zvyšujícím se nárokům na produktivitu práce se především vlivem vysokých řezných rychlostí zvyšuje množství tepla, které je nutné odvádět. Pokud by se teplo neodvádělo z místa řezu, docházelo by k jeho hromadění vedoucí k nepřesnostem při obrábění, změně mechanických vlastností povrchu obrobku a opotřebení nástroje. Zvláště důležitý je odvod tepla u nástrojů, kde hrozí znehodnocení vlivem popouštění vysokými teplotami např. rychlořezné oceli. Teplo se většinou odvádí proudem PK, která v místě řezu oplachuje nástroj, obrobek i třísku. Zde dochází k předání tepla do PK. Částečně dochází i k vypařování PK. To je však nežádoucí ze zdravotních důvodů ale i kvůli ztrátě části PK. V případě většího množství odpařené PK by muselo dojít k odsávání par a to je nevhodné. Odvedené teplo se během oběhu a v nádrži vyzáří do okolního prostředí. Hlavní vliv na chladicí účinky PK mají tyto vlastnosti: povrchové napětí (čím menší tím se zvětšuje smáčecí schopnost), výparné teplo, rychlost vypařování za určitých teplot, na tepelné vodivosti a měrném teple. Důležitá je i pěnlivost PK, která je nežádoucí a snižuje chladicí schopnost [4], [6], [20].

1.3.4 Čisticí účinek

Během obrábění dochází ke znečišťování PK jak třískami a pilinami vznikajícími při obrábění, ale také zanášením různých nečistot z ovzduší (prach apod.). To s sebou nese řadu problémů. Dochází k otupení nástrojů i zhoršení jejich řezných vlastností. Znečištění také může poškodit samotné obráběcí stroje respektive jejich funkční plochy. Pro čištění je velice důležité, aby PK umožnila nečistotám usadit se v nádrži a tím jim zabránila v dalším pohybu v oběhu (směrem k místu řezu). PK by neměla ani lepit to způsobuje větší náchylnost na usazení nečistot. Vysoký čisticí účinek mají především kapaliny s malou viskozitou a bez aktivních přísad. Velkou prioritu má čisticí účinek především při technologii broušení, kde je nutné rychle odvádět třísky z místa řezu za účelem snížení tepla v místě řezu, které zde vlivem velmi vysokých řezných rychlostí a nedokonalé geometrie nástroje vzniká. To má za následek zlepšení drsnosti povrchu [4], [6], [20].

1.3.5 Ochranný účinek

Jelikož se PK ve velké míře dostávají do kontaktu s částmi obráběcího stroje, je celkem logické, že nechceme, aby PK narušovali kovy. Případná koroze by byla nepřipustná. Kromě toho ještě požadujeme od PK schopnost ochrannou, ta má ochraňovat jednak stroj při krátkodobých přestávkách, tak i obrobek vystavený atmosférické vlhkosti mezi jednotlivými operacemi. Kromě ochrany kovových součástí se někdy dbá i na ochranu nekovových součástí jako jsou například nátěry, těsnění apod. [4], [6], [20].

1.4 Péče o PK

Vhodný účinek PK můžeme dosáhnout jen tehdy, pokud PK nebude po určitou, pokud možno co nejdelší dobu, měnit své mechanické a chemické vlastnosti požadované pro daný účel, pro který byla navržena. Bohužel PK vlivem působení okolního prostředí a podmínek vznikajících při procesu obrábění ztrácejí svoje kladné vlastnosti a začíná tak vznikat určité riziko související s těmito změnami, ať už se jedna o problémy spojené s opotřebením nástroje apod. nebo např. zdravotní rizika, které s sebou delší dobu používané PK nesou. Pokud vlastnosti PK překročí únosnou mez, musí dojít k její výměně. To ovšem zvyšuje náklady spojené s výrobou. Kromě nákladů spojených s nákupem nových PK musíme také počítat s náklady určené na likvidaci staré PK a prostoje vzniklé na stroji. Proto je celkem logická snaha o zvýšení lhůty pro výměnu PK. Kontrola, zda je PK ještě způsobilá, by měla být, pokud možno, co nejjednodušší. Často se omezuje pouze na kontrole vzhledu popřípadě pachu PK. Pokud tato kontrola nepostačí, potom přistoupíme k jiným zkouškám zaměřeným především na zjištění korozivnosti PK.

Během životnosti emulze jsou tři hlavní období, kterým je třeba věnovat velkou pozornost - příprava emulze, její používání ve stroji a výměna použité emulze. Dále jsou uvedena základní opatření, která mohou podstatně prodloužit životnost řezných kapalin a tím i hospodárnost jejich použití [22].

1.4.1 Příprava PK

Při přípravě emulze existuje několik základních pravidel, které by se měli dodržovat. Mezi nejdůležitější patří výběr vody, respektive její jakost. Voda by neměla být ani kyselé ani zásaditá (pH zhruba 7), také by měla mít vhodnou tvrdost (10-20). Je vhodné, aby kvalita použité vody byla předem známá. Pokud připravujeme emulzi, je nutné použít nepozinkovanou nádobu, která by měla být dezinfikována a čistá. Koncentrát se během přípravy vždy nalévá do vody, opačně se tomu tak nikdy neděje. Mísení musí probíhat rovnoměrně kvůli zachování rovnoměrnému rozmístění koncentrátů ve vodě. Na tyto účely se používají k tomu určené stroje (směšovací stroje nebo dávkovací čerpadla). Aby byl dodržen určený mísicí poměr, je nutno během míchání měřit koncentraci ručním refraktometrem - přitom je třeba dát pozor

na korekční faktor, který je pro každý výrobek specifický. Posledním důležitým požadavkem, který souvisí s přípravou nové emulze, je její napouštění do čistého oběhového systému [14].

1.4.2 Používání PK

Období používání emulze je mnohonásobně delší než čas věnovaný její přípravě respektive výměně nebo čištění. Jak už bylo dříve řečeno je pro nás velmi důležité dosáhnout co nejdelší životnosti PK. Toho lze nejlépe dosáhnout pravidelnými kontrolami PK (zhruba každý týden), tím potom můžeme zajistit, že využití PK bude optimální. Opravdu důležitá je pro nás především hodnota pH v PK. Optimální hodnota je závislá na množství koncentráту v PK. V PK do 5% by hodnota pH neměla poklesnout pod 8,8 v případě koncentrací cca do 10% by PK neměla hladina pH překročit hodnotu 9,3, to je zhruba hodnota čerstvé emulze. V tomto rozsahu hodnot pH považujeme PK kapaliny za nedráždivé. Hodnoty pH kolem 7 se v praxi vyskytují jen velmi zřídka. Po dobu používání se pH v PK může, a taky se tomu tak děje, měnit. Může dojít k poklesu nebo naopak zvýšení hodnoty pH, záleží na tom, jaké faktory na PK působí. Pokud dojde ke snížení pH, tak nejčastějším viníkem bývají bakterie, které narušují PK. Při větších koncentracích bakterií většinou vzniká zápach a může dojít k znehodnocení emulze. Při sníženém pH se také zvyšuje pravděpodobnost koroze. Naopak zvýšené hodnoty pH mají za následek většinou alkalické čisticí prostředky. Kromě hodnoty pH je dosti důležitá i samotná koncentrace PK. Pokud je koncentrace příliš vysoká může docházet k pění, které způsobuje špatné chlazení, což má negativní vliv na nástroje. Naopak nízká koncentrace dělá PK více nestabilní a napomáhá výskytu mikrobů.

Účinným opatřením k prodloužení životnosti emulze je i její provzdušňování, neboť bez přístupu vzduchu, např. při delší odstávce, se množí bakterie a například sírany se redukuji na H_2S . Tím vzniká nepříjemný zápach. Výhodné je nechat systém při provozní odstávce promíchat, aby mohlo dojít k provzdušnění [14].

Dalším důležitým prvkem, který zvyšuje životnost PK je snaha udržet PK čistou, tedy bez látek, které se do systému dostaly během provozu. Tyto látky mají neblahý vliv na stabilitu PK a zvyšují riziko výskytu bakterií. Nesmíme zanedbat ani vznik úsad, ty mohou znečistit celý oběhový systém stroje (strojů). Proto je nutné použít vhodný filtr pro zachycení pevných částic a také musíme odstředit různé oleje vniklé do systému během procesu obrábění.

1.4.3 Výměna a čištění PK

V praxi je velmi výhodné, aby se výměna PK kapaliny uskutečňovala ve stejnou dobu, v jaké se provádí celková údržba stroje. Díky tomu se snižují náklady spojené s odstávkou stroje, která by musela být prováděna samostatně. U emulzí platí, že výměna náplní probíhá častěji než je tomu u řezných olejů. Před napuštěním nové náplně PK je nutno zajistit aby nedošlo k jejímu znečištění „zbytky“ ze staré náplně, po které zbude velké množství nečistot, bakterií apod. Z těchto důvodů se používají tzv. systémové čisticí prostředky, ty mají za úkol zbavit se tohoto množství nečistot. Samotná aplikace systémových čisticích pro-

středků probíhá následovně. Systémové čisticí prostředky se nalijí do „staré“ PK a podle stupně znečištění se používají 8 až 24 hodin, pak se náplň vypustí a dochází ke kontrole čistoty oběhu. Pokud kontrola proběhne bez problému potom lze napustit novou PK. „Stará“ kapalina musí být odborně zlikvidována nebo předána firmě, která je oprávněná k manipulaci s nebezpečnými odpady [6], [16].

1.5 Zkoušení a analýza PK

Aby byl proces obrábění, co nejefektivnější musíme znát faktory, které ho ovlivňují. Z těchto důvodů je naprosto logická snaha o co nejpodrobnější zmapování PK jakožto jednoho z nejdůležitějších faktorů při obrábění vůbec. Různé technologie obrábění mají odlišné řezné podmínky a tím i zcela odlišné požadavky na PK. PK se testují mnoha způsoby v závislosti na tom, co je pro danou PK či technologii, při které bude používána, důležité.

1.5.1 Analýza PK

Při analýze PK kapaliny zjišťujeme její příznivé i nepříznivé chemické a mechanické vlastnosti jako např. mazací nebo chladicí účinek, životnost kapaliny apod. Cílem je zhodnotit vlastnosti PK, aniž by, jsme řešili pro jakou konkrétní technologii a za jakých řezných podmínek bude PK kapalina použita. Účelem této analýzy je zjištění, v jakých vlastnostech bude kapalina vynikat, a v jakých naopak ne. Později při výběru PK pro konkrétní technologii, kde je kladen důraz především na určité vlastnosti PK vhodných pro danou operaci, můžeme těchto analýz snadno využít pro výběr té nejvhodnější PK, popřípadě k zúžení jejího výběru.

Zkoušky PK s podílem vody

a) Zkoušky PK vodou mísitelných

U těchto druhů PK se provádí zkouška především na rezivění vznikající na strojních součástech po styku s PK. Mimo to se provádějí i zkoušky pěnivosti nebo hodnoty pH.

b) Zkoušky PK vodou nemísitelných

Podobně jako tomu je tomu u PK vodou mísitelných i zde se provádí hlavně zkouška na rezivění strojních součástí a také se určuje hodnota pH, mimo to se u emulzí provádějí ještě jiné zkoušky. Zkoumá se obsah olejových podílů v emulzi a zároveň stabilita dané PK. Tím vlastně zjišťujeme jakost emulgačního prostředku užitého v PK. Výjimečně se provádějí ještě zkoušky tzv. jednoúčelové, pro případy, kdy jsou PK určeny pro určitou zvláštní výrobní operaci.

Určení tvrdosti vody

Tuto hodnotu udáváme ve stupních tvrdosti. V různých zemích má jednotka jeden stupeň odlišnou hodnotu. V ČR se například používá jednotka °N - jeden německý stupeň, jeho hodnota znamená tvrdost odpovídající množství 10 mg/l CaO respektive 7,2 mg/l MgO. Určovat tvrdost lze i v jednotkách mval/l (1 mval/l = 2,8°N). Podle iontů, které tvrdost působí, hovoříme o tvrdosti vápníkové a hořčíkové. Jejich součtem je veškerá tvrdost. Množství vápníku a hořčíku, které je ekvivalentní obsahu kyselých i normálních uhličitánů, označujeme jako uhličitánovou tvrdost. Tato uhličitánová tvrdost se při nadbytku uhličitánů může maximálně rovnat veškeré tvrdosti. Dříve bývala uhličitánová tvrdost označována jako „přechodná“ nebo „pomíjející“, tvrdost neuhličitánová jako „stálá“. Tvrdost se dá měřit celou řadou metod jako např. metodou podle Blachera, Clarkova, Boutronova-Boudetova, Warthyho-Pfeifera. Jsou to metody vážkové popřípadě titrační ale daleko rychlejší a také používanější je tzv. komplexometrická metoda, kromě již zmíněné rychlosti měření můžeme dodat, že tato metoda je přesnější [6].

Příprava zkušebních vzorků

Při přípravě zkušebních vzorků PK je nutné dodržet dvě základní podmínky. PK musí být připravena v předepsané koncentraci a musí se zajistit, aby byl vzorek PK stejnorodý, tedy řádně promíchaný. Emulgační oleje mají sklon k rozvrstvování, není z nich možné brát přímo průměrný vzorek. Bez řádného promíchání by byl výsledek měření značně zkreslený a nepřesný. Při testování emulgačních tuků se testovaný vzorek odebírá ze zhruba deseticentimetrové hloubky z důvodů znečištění vrchní vrstvy. Pro zkoušení PK ve skleněné nádobě obvykle používáme 1 litr emulze [6].

Stabilita emulze

Stabilita emulze se testuje ve válci o objemu 100 ml se zabroušenou zátkou. Výsledek se hodnotí podle oleje, který se oddělí z PK a zůstane na hladině válce. Aby byla PK považována stabilní, nesmí se na hladině objevit souvislá vrstva [6].

Obsah olejového podílu

Obsahem olejového podílu v emulzi se rozumí úhrnný obsah minerálního oleje, mastného oleje nebo tuku, chemicky vázaného v emulgátoru, a nezmýdelněného mastného oleje nebo tuku [6]. Zkouška se provádí v baňce 100+20 ml viz norma ČSN 65 6239. Účel zkoušky spočívá v kontrole jakosti PK, kde se klade důraz na zjištění úbytku emulgačního prostředku v průběhu jejího používání.

Zkouška na koroziivnost

Tato zkouška se provádí následovně: na připravený leštěný povrch kovového plíšku (materiál dle konkrétní zkoušky) nanese 5 kapek o objemu 10 ml PK s koncentrací 5%.

Po 4 hodinách zkontrolujeme zkoušený povrch, pokud nalezneme stopy po korozi (nejčastěji tmavé) jedná se o korozivní PK [6],[16].

Stanovení pH

pH se stanovuje pomocí indikačních papírků. Papírek namočíme do zkoušené PK na cca 1 sekundu a po vyjmutí podle zbarvení zjistíme příslušné pH. Zbarvení papírku porovnáváme pomocí standardní barevné stupnice k tomu určené.

Zkoušky kapalin s olejovouází

Pro tento druh PK se používají totožné zkušební metody, jako je tomu u mazacích olejů. Rozdíl nalezneme prakticky pouze v důležitosti prováděných jednotlivých zkoušek vyplývajících ze složení PK a jejímu budoucímu upotřebení. Například u olejů čistě minerálních je zkouška na korozivnost víceméně nepotřebná jelikož nepůsobí na železné i neželezné kovy korozivně ale obráceně. Naopak zkouška neutralizačního čísla má v tomto případě význam, do jisté míry vypovídá o odolnosti PK proti stárnutí [6].

Kinematická viskozita

Dříve byla měřená viskozita na viskozimetru Englerově. Takto stanovené hodnoty však nemají přímý vztah k absolutní viskozitě, proto se přešlo téměř všeobecně k měření viskozity kinematické, z níž násobením hustotu kapaliny dostaneme již přímo viskozitu absolutní [6], [16].

Bod vzplanutí

Za bod vzplanutí se považuje teplota, při které dochází k odpařování složek PK do ovzduší v takové míře, že dochází k hoření vzniklých par při kontaktu s otevřeným ohněm, ale hoření par PK samo o sobě nevydrží kontinuálně. V případě bodu hoření PK hoří trvale bez jakéhokoliv vnějšího zásahu. Tento údaj není tak důležitý jako je bod vzplanutí a měří se jen zřídka. Bod vzplanutí se obvykle testuje v kelímku otevřeném či uzavřeném, uzavřený kelímek se nejčastěji používá při testování kapalin s teplotou vzplanutí do cca 150°C. Při testování PK je nutné dodržet několik zásad jako je správná rychlost zahřívání. Toto měření je dosti náročné na přesnost měřicího přístroje [16].

Bod tuhnutí

U PK tato hodnota není zas tak podstatná až na situace, kde je PK uskladněná ve strojích nedostatečně chráněných před venkovními teplotami. Měření probíhá ve skleněném přístroji s přesně danými rozměry.

Neutralizační číslo

Udává množství látek, buď kyselých, nebo zásaditých, které jsou v PK obsaženy. Naměřené hodnoty se udávají v mg KOH potřebné k neutralizaci PK za podmínek určených zkouškou. Drtivá většina dnes používaných PK je spíše kyselé povahy. Ve výjimečných případech se setkáváme s PK, které mají úmyslně alkalickou reakci. Těch je minimum, proto se jimi nebudeme zabývat. Surový olej používaný k výrobě PK v sobě obsahuje mnohem větší množství „kyselých“ látek, které se pomocí rafinace odstraňují, avšak část těchto látek v PK zůstává, je jí ovšem podstatně méně cca 0,05 mg KOH/g (jedná se o variantu a) viz níže. Rozeznáváme dvě základní hodnoty a to [6], [16]:

a) neutralizační číslo

Zjišťujeme množství KOH, spotřebované na neutralizaci 1g testované kapaliny. Kyselost oleje bývá způsobena organickými kyselinami, které mají mnohem větší molekuly a jsou podstatně méně agresivní než kyseliny anorganické (např. kyselina solná, sírová atd.), které by se v kapalině neměli vyskytovat ve větším množství, jelikož mají vysoké korozivní schopnosti. Anorganické kyseliny, vyskytující se v PK, bývají následkem nedokonalého zpracování, nebo se jedná o nečistoty [6], [16].

b) neutralizační číslo vodního výtřepku

Tímto experimentem zjišťujeme, zda nejsou ve výtřepku, získaném extrakcí oleje čtyřnásobným objemem horké zneutralizované vody, nežádoucí anorganické kyseliny. U čistě minerálních olejů lze navíc zjistit odolnost oleje proti stárnutí respektive stupeň zestárnutí, jedná-li se o kapalinu v provozu [6], [16].

Číslo zmýdelnění

Chápeme tím množství hydroxidu draselného v mg, spotřebované během zkoušky při neutralizaci volných kyselých látek a současném zmýdelnění látek zmýdelnitelných za předem daných podmínek experimentu. Vzorek se zahřívá v alkohol-benzenovém roztoku s alkoholovým KOH v nadbytku. Nespotřebovaný KOH se určí zpětnou titrací na alkalickou modř. Výsledkem se rozumí tzv. „číslo zmýdelnění“ v mg KOH/1g. Podobně jako u neutralizačního čísla, tak i číslo zmýdelnění vypovídá o kvalitě rafinace oleje, pokud se jedná o olej pouze minerální. Je-li známo u maštěných olejů číslo zmýdelnění, lze vypočítat obsah mastnoty v PK (pokud známe druh použité mastnoty). Pokud je nám tento druh mastnoty neznámý (tedy i číslo zmýdelnění), je možno použít pro hrubý odhad mastnoty střední hodnotu čísla zmýdelnění (185). Na velikost čísla zmýdelnění mají kromě množství mastnoty vliv i některé aditiva. Tato hodnota má nejvyšší využití při kontrole stárnutí PK. Pokud je PK starší mívá zpravidla vyšší číslo zmýdelnění. Díky tomu patří toto číslo k jednomu s faktorů, jimiž lze odhadovat stupeň zestárnutí oleje [6], [16].

Obsah popela

Jedná se o netěkavý zůstatek po úplném spálení vzorku. Během zkoušky se nechá odpařit vzorek PK, po kterém zůstane zuhelnatělý zbytek, ten se nechá vyžíhat v elektrické píce. Výsledky se uvádí ve váhových procentech (% váh.) jako tzv. „popel“ [6].

Pevnost mezní olejové vrstvy

Zkoušek hodnotící pevnost mezní olejové vrstvy je celá řada. Mezi nejznámější patří například Čtyřkuličkový stroj, Reichert test nebo různá měřicí zařízení tzv. Tribometry. Většina přístrojů se snaží co nejvěrněji simulovat reálné podmínky zatížení, které nejčastěji modelují třecí dvojici. Účelem těchto zkoušek je především zjistit účinek vysokotlakých přísad (aditiv) a porovnat mezi sebou jednotlivé PK. To může významně pomoci při výběru vhodných aditiv a jejich optimalizaci. Lze tím sledovat i vliv stárnutí PK na její mazivost [4].

Další laboratorní zkoušky:

Mezi další laboratorní testy patří např. zkouška na obsah mechanických nečistot a zkouška na obsah vody. Podrobnější popis respektive jejich metodiku najdeme v normách ČSN 65 6219 (zk. na obsah mechanických nečistot) a ČSN 65 6222 (zk. na obsah vody).

1.5.2 Technologické zkoušky PK

Faktorů ovlivňujících proces obrábění je příliš mnoho a ne vždycky jsou zcela zmapovány, některé méně důležité faktory proto zanedbáváme nebo je určitým způsobem idealizujeme, z těchto důvodů pouhou analýzou nemůžeme úplně přesně určit, jak se zkoumaná PK bude chovat při konkrétní technologii obrábění a řezných podmínkách s konkrétním strojem a nástrojem. Tento nedostatek můžeme odstranit tzv. technologickými zkouškami. Cílem těchto měření je zjištění určitých hodnot (např. trvanlivost nástroje při použití dané PK, jakost povrchu obráběné součásti nebo vliv PK na vznikající řezné síly při procesu obrábění atd.) Tyto hodnoty pak jasně ukazují, jakých skutečných výsledků která PK dosáhla při operaci, pro jakou by měla být později použita.

Metodika zkoušek

Metodik technologických zkoušek je celá řada, protože velká část firem testujících PK má svojí vlastní metodiku. Z těchto důvodů je velice těžké zmapovat celý trh, tudíž jsem se zaměřil pouze na některé vybrané zkoušky, které zde popíšu.

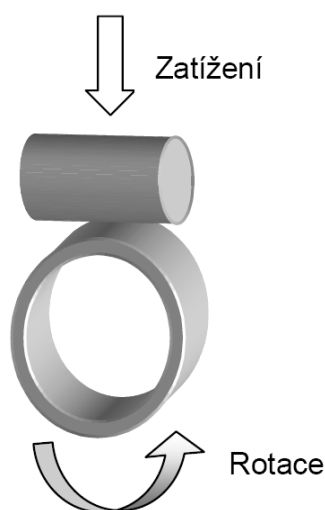
Konkrétní používané zkoušky

Přístroje simulující reálný třecí kontakt

Tyto přístroje mají v podstatě stejný princip, tím je vytvoření třecí dvojice mezi přesně definovanými segmenty. Ty se u každého zařízení liší. Přesnější popis vybraných metod napodobujících reálné třecí prostředí viz následující 3 kapitoly.

Reichert test

Zde tvoří třecí dvojici pevně ukotvený testovací váleček s definovaného materiálu a brusný prstenec vyrobený ze speciální legované oceli. Během experimentu je brusný prstenec přitlačován na testovací váleček pomocí pákového mechanismu a zároveň koná rotační pohyb. Přístup PK do místa tření mezi oběma elementy zajišťuje ponoření rotujícího prstenu z jedné třetiny do testovaného vzorku kapaliny. Důsledkem tření dochází během zkoušky ke vzniku elipsovité plochy na válečku. Plochu otěru lze spočítat pomocí vzorce: $A = 0,785 \times l \times d$ [mm²], kde znamená A plochu otěru, l délku eliptické plochy, d šířku eliptické plochy. Poté můžeme zjistit hodnotu únosnosti mazacího filmu (ÚMF) $ÚMF = (2000 \times G) / A$ [kp/cm²], G odpovídá zvolenému závaží v kp (1000g ÷ 1kp). Princip měření je zobrazen na obr. č. 4. Jeho podrobný popis nalezneme v normách firmy PETROTEST [18].

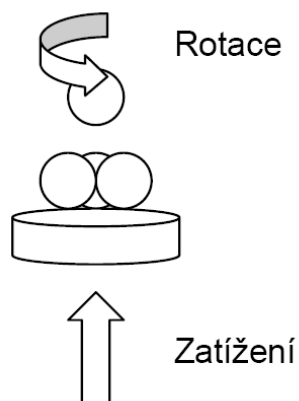


Obr. 4. Princip Reichert testu [18]

Four ball tester (Zkouška na čtyřkuličkovém stroji)

Jako třecí elementy jsou zde využity 4 ocelové kuličky (½“). Tři z nich jsou pevně fixovány v pouzdře, kde je současně umístěna i testovaná PK. Čtvrtá kulička se upíná ve sklíčidle, které je nasazeno na hřídel vertikálního elektromotoru se standardními otáčkami (1500 ot/min). Tření zajišťuje pákové ústrojí, které přitlačuje pouzdro s nepohyblivými kuličkami k vrchní rotující. Díky možnému natáčení pouzdra lze zjišťovat točivý moment, tedy i součinitel tření. Parametry určující výsledek zkoušky jsou velikost zatížení a čas potřebný k zadření

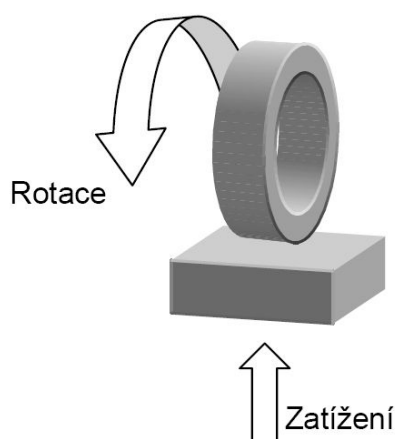
(svažení) ocelových kuliček respektive jejich vzniklé opotřebení (vyhodnocení provádíme mikroskopem). V normách IP 239; ASTM D 2783, D 4172, D 2596, D 2266, DIN 51350 nalezneme metodiku používanou při vyhodnocení mazivosti PK. Princip metody je vyobrazen a popsán na obr. 5. [6],[18].



Obr. 5. Princip zkoušky na čtyřkuličkovém stroji [18]

Timken load tester

Dvojice třecích elementů u zkoušky Timken load tester tvoří stacionární kvádr a rotující kroužek. Oba tyto třecí segmenty byly vyrobeny z definovaného materiálu. U experimentu se hodnotí následující kritéria: OK load (hodnota tlaku, při kterém ještě nedojde k pozorovatelnému poškození třecích elementů), Seizure load (hodnota tlaku, při kterém dojde ke svažení třecích elementů) a opotřebení třecích elementů, udává se jako změna váhy třecích elementů, v průběhu testu. Tento test je podrobně popsán v normách IP 240, 326; ASTM D 2782, D 2509; DIN 51434, a jeho princip vyobrazen na obr. 6 [18].



Obr. 6. Princip timken load testu[18]

Ostatní přístroje

IVF Smart Quench

Přístroj IVF Smart Quench slouží ke změření průběhu ochlazovacích křivek kalících prostředí. Měření probíhají dle norem ISO 9950-1995 a ASTM D 6200-01. Zjištěné hodnoty se bezdrátově přenášejí do PC, kde se zobrazují ve formě grafů nebo tabulek. Výstupem z měření je graf, příp. tabulka, obsahující ochlazovací křivku (teplota-čas) a její derivaci, tj. rychlost ochlazování zkoušené kapaliny. Výsledky experimentu (tedy ochlazovací křivky) se porovnávají s ARA diagramy materiálů, pro které by měli být PK určeny, díky tomu můžeme zjistit strukturu daného materiálu, pokud by došlo k ochlazení v tomto procesním prostředí. Přístroj IVF SmartQuench je vyobrazen na obr. č. 7.



Obr. 7 Přístroj IVF SmartQuench [10]

Vyhodnocení se provádí porovnáním výsledků měření, tj. ochlazovacích křivek, s ARA diagramy jednotlivých materiálů, pro které se předpokládá použití zkoušeného kalícího média. Lze tak vyčíst, jaká struktura by v materiálu vznikla při ochlazení do tohoto prostředí [4], [10].

High pressure testing compatibility test

Tento test má za úkol simulovat podmínky kdy jsou PK zatíženy vysokými tlaky (řádově stovky barů). K tomu je potřebný speciální přístroj např. CIMCOOL HPFT Device vyobrazený na obr. č. 8. Tohoto experimentu se využívá při vývoji PK schopných pracovat při vysokých tlacích. Vysokého tlaku PK se používá především při obrábění těžko obrobitelných materiálů, jako jsou například niklové slitiny nebo titan a jeho slitiny, které se často vyskytují obzvláště v leteckém průmyslu. Špatná obrobitelnost těchto slitin vyplývá zejména z vysoké houževnatosti a špatné tepelné vodivosti materiálu, což vede ke zvýšené tvorbě nárůstků a svarů respektive k tendenci PK chemicky reagovat s nástrojem. To vede k jeho rychlejší destrukci.

Vzhledem dříve jmenovaným problémům je nutné zvýšit odvod nežádoucího tepla z místa řezu. Použití PK při obrábění těžko obrobitelných materiálů v oblasti vyšších tlaků prokázalo podstatně lepší výsledky oproti obrábění při nízkých tlacích. Z toho vyplývá, že díky vyšším tlakům (tedy i vyšším průtokům PK) dochází k lepšímu odvodu tepla (čím větší objem PK, tím se zvyšuje možné množství odvedeného tepla). Zlepšuje se i oplachovací schopnost PK a dochází ke snížení řezných sil. Chlazení s vysokým tlakem přímo a cíleně řízené „cutting zone“ vytváří tzv. hydraulický klín mezi třískou a řezným nástrojem. Vysokotlaké chladicí systémy dokážou pracovat při tlaku až do cca 1000 barů. Obvykle se používají tlaky nižší, a to v závislosti na obráběném materiálu. Pro každý materiál se mohou jevit jako optimální rozdílné hodnoty tlaků. Např. pro již zmíněný titan se považuje za vhodný tlak PK pro obrábění 200 bar. Tento test zjišťuje především schopnost destabilizace pěny (jejího rozpadu) a vůbec celková stabilita testované kapaliny. Během experimentu protéká PK kaskádou jednotlivých částí, kde dochází ke zjišťování důležitých parametrů, jako je tvorba a rozpad vznikající pěny a celková chemická stabilita jednotlivých složek. Přístroj je vyobrazen na obr. č. 8 a 9.



Obrázek 8. CIMCOOL HPFT Device, testovací zařízení



Obrázek 9. Generování tlaku 200 bar v zařízení CIMCOOL HPFT Device

2 Návrh metodiky

Praktická (experimentální) část této práce byla prováděna v laboratoři obrábění a metrologické laboratoři. Jednalo se o měření trvanlivosti nástroje (S 30) v závislosti na použité PK respektive jinému chladicímu mediu (voda, vzduch). Tento experiment byl prováděn na stroji FNG 32, za navržených a přesně definovaných řezných podmínek viz tabulka č. 5.

Dále se zjišťoval vliv těchto medií na drsnost obráběného povrchu pomocí frézky FNG 32 a přístroje Surftest SV-2000 za navržených a přesně definovaných řezných podmínek viz tabulka č. 6. Před realizací těchto měření došlo k řádnému proškolení ohledně bezpečnosti práce a ovládání použitých strojů a přístrojů zvláště pak frézky FNG 32.

2.1 Popis a charakteristika zkoušených PK a obrobku.

Při měření trvanlivosti nástroje a drsnosti obrobku v závislosti na použité PK byly z firmy PARAMO a.s. dodány různé, vodou mísitelné PK PARAMO a.s. a to PARAMO SK 300, PARAMO ERO SB, PARAMO EOPS UNI a PARAMO ERO AW. Pro zjištění jejich případných pozitivních či negativních vlastností se pro porovnání výsledků použily jako chladicí medium již zmíněné voda a vzduch. Všechny zkoušky byly prováděny na stejném kusu obrobku, viz kapitola 2.1.2.

2.1.1 Zkoušené procesní kapaliny

PK PARAMO SK 300

Jedná se o vodou mísitelnou, syntetickou obráběcí kapalinu bez obsažení minerálního oleje. Je vhodná pro obráběcí operace, kde není definována geometrie nástroje, není klasifikována jako hořlavá kapalina [12]. Důležité parametry jsou uvedeny v příloze 1, bezpečnostní list je uveden v příloze 2.

PK PARAMO ERO SB

Jedná se o plně minerální emulgační olej tvořený vhodnými emulgátory, 80 % nízko aromatického ropného oleje, inhibitory koroze, přísadami minimalizujícími pění a konzervačními prostředky. Vhodná zejména pro obrábění lehkých slitin a dalších materiálů se zhoršenou obrobitelností [12]. Důležité parametry jsou uvedeny v příloze 3, bezpečnostní list je uveden v příloze 4.

PK PARAMO EOPS UNI

PARAMO EOPS UNI je polosyntetický emulgační olej tvořený syntetickými přísadami, 40 % nízko aromatického ropného oleje, inhibitory koroze, přísadami minimalizujícími pění

a konzervačními prostředky. Vhodný pro obrábění ocelí, litin, neželezných kovů a jejich slitin [12]. Důležité parametry jsou uvedeny v příloze 5, bezpečnostní list je uveden v příloze 6.

PK PARAMO ERO AW

PARAMO ERO-AW je polosyntetická obráběcí kapalina tvořená vhodnými emulgátory, nízko aromatickým olejem parafinického typu, inhibitory koroze, přísadami proti pění, konzervačními prostředky, EP a AW přísadami. Kapalina je za účelem dosažení vysoké stability a dlouhé životnosti vybavena vhodnými baktericidními a fungicidními prostředky. PK je určena pro většinu obráběcích operací [12]. Důležité parametry jsou uvedeny v příloze 7, bezpečnostní list je uveden v příloze 8.

2.1.2 Příprava PK

K přípravě byl použit příslušný koncentrát PK, který se zředil a náležitě promíchal s vodou. Hmotnostní koncentrace výsledného roztoku byla u všech PK vždy 4%. Přípravu PK je nutné provádět tak, aby byl emulgační olej za stálého míchání přiléván do vody, nikdy ne opačně. Ve všech případech se jednalo o kapaliny vodou mísitelné.

2.1.3 Charakteristika obrobku (materiál 14 220.3)

Jedná se o mangan-chromovou ocel vhodnou pro zušlechťení, cementování s velkou pevností v jádře. Pro součásti do průměru 35 mm, například hřídele ozubená kola atd. Obrobek, na kterém bylo měření prováděno, měl rozměry (před počátkem obrábění) 100x80-475. Norma materiálu: ČSN 41 4220. Podrobnější informace o obrobku nalezneme v tabulkách 2,3,4 [7].

Tab. 2. Zahraniční ekvivalenty značení materiálu [7]

ISO	TYPE 5 ISO 683/11-70
EURO	16MnCr5 EN 10084-94, EN 84-70
Německo	16MnCr5 DIN 17210-86 (1.1191)
Velká Británie	590M17 BS97/1-96
USA	Gr.5120 ASTM A 506 No.5115 ASTM A519-84

Tab. 3. Chemické složení materiálu 14 220.3 [7]

chemické složení v %	C	Mn	Si	Cr	Ni	Cu	Al	P	S
dle ČSN	0,14	1,1	0,17	0,8	-	-	-	max.	max.
	0,19	1,4	0,37	1,1	-	-	-	0,035	0,035
dle ČSN EN 10204	0,16	1,21	0,21	0,9	0,09	0,23	-	0,012	0,029

Tab. č. 4. Mechanické vlastnosti materiálu 14 220.3 [7]

Mez kluzu $R_{p0,2}$	MPa	247
Mez pevnosti R_m	MPa	441
Tažnost A_5	%	38
Tvrdost HV_{10}	-	120
Kontrakce Z	%	40
Modul pružnosti v tahu E	GPa	190

2.2 Popis použitých strojů, přístrojů a jejich metodika

2.2.1 Frézka FNG 32

Pro nesousledné frézování byl navržen a použit stroj FNG 32. Jedná se o konvenční nástrojařskou frézku, určenou pro frézovací, vrtací vyvrtávací a závitovací operace na obrobcích do hmotnosti 350 kg v malosériové výrobě, zejména v nářadovných. Je dodávána s horizontálním vřetenem, uloženým ve smykadlovém vřeteníku. Dále je stroj vybaven vertikální hlavou a pevným úhlovým stolem. Vertikální hlava je opatřena pinolou s ručním výsuvem, vřeteno lze naklápět v rozsahu $\pm 90^\circ$. Dokonalé upnutí nástroje je zajištěno pneumaticko-hydraulickým upínáním nástroje v horizontálním i vertikálním vřetenu. Rozsah otáček vřetena je rozdělen do dvou stupňů s plynulou regulací s maximem 4 000 ot./min. a v kombinaci s plynulou regulací pracovních posuvů umožňuje hospodárné obrábění nejrozličnějších druhů materiálů. Optimální mazání funkčních ploch je zajištěno pomocí mazacího agregátu s dávkovači. Stroj je rovněž vybaven chlazením nástroje, světlem a bezpečnostním krytem pracovního prostoru. Technologické možnosti stroje rozšiřuje použití zvláštního příslušenství [21].



Obr. 10. Nástrojová fréza FNG 32

2.2.2 Měření trvanlivosti nástroje v závislosti na použitém PM

Před měřením trvanlivosti nejdříve upneme obrobek do svěráku. Poté zapneme stroj FNG 32 a určíme referenční body. Po určení referenčních bodů nastavíme řezné podmínky, viz tabulka 5, a nastavíme nástroj do polohy tak, aby ubíral přesnou hloubku a šířku řezu. Potom zapneme posuv a obrábíme materiál tak dlouho, dokud se neprojeví opotřebení nástroje. To se projevuje zvýšenou hlučností a chvění stroje při procesu obrábění. Podle toho můžeme odhadnout, kdy se blíží maximální přípustné opotřebení nástroje (v našem případě se jedná o 0,7 mm), a kontrolujeme nástroj po určitých intervalech dle našeho uvážení, dokud nezjistíme maximální přípustné opotřebení. Abychom docílili dostatečně přesného výsledku, opakujeme měření trvanlivosti nástroje pro každé procesní prostředí 5x a jako výsledek použijeme aritmetický průměr všech měření. Po ukončení měření je nutné po sobě důkladně uklidit a vyčistit stroj. Kromě hlediska bezpečnosti práce a estetického se jedná

o ochranu stroje před korozí, na kterou během měření působí chemicky poměrně agresivní PK.

Tabulka 5. Důležité údaje a hodnoty související s daným měřením

Stroj:	frézka FNG 32			
Zkušební vzorek:	14 220.3			
Způsob frézování:	nesousledné			
Podmínky experimentu:	šířka záběru	a_p	1	[mm]
	posuv	f	44	[mm/min.]
	otáčky vřetena	n	440	[ot./min.]
	posuv na zub	f_z	0,1	[mm/min.]
	řezná rychlost	v_c	83	[m/min.]
	koncentrace	-	4	[%]
Druh procesního prostředí:	SK 300			
	ERO SB			
	EOPS UNI			
	ERO AW			
	užitková voda*			
	vzduch			
Měřené parametry:	trvanlivost nástroje	T		[min.]
Měřicí přístroje:	nástrojová lupa Brinell			

* Jedná se o vodu z vodovodní sítě o teplotě cca 18°C

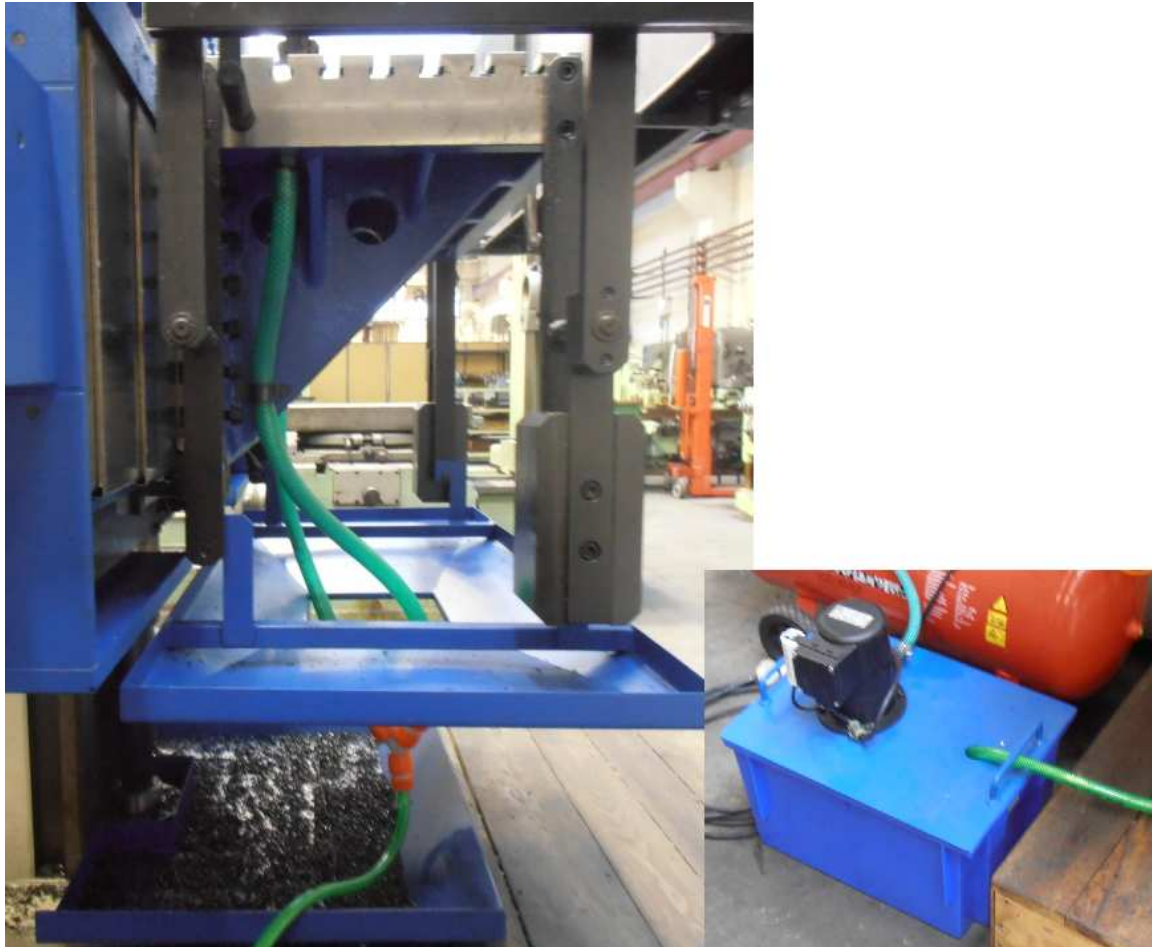
Příprava vzorků na měření obrobeného povrchu v závislosti na použité PK

Před samotným měření drsnosti bylo nutné vyrobit vzorky, na kterých budeme experiment provádět. Tyto vzorky zhotovíme na totožném polotovaru, na němž jsme prováděli předchozí měření (měření trvanlivosti nástroje v závislosti na použité PK). Totožné bude i zapnutí a nastavení stroje před zhotovením vzorků, až na rozdílné řezné podmínky uvedené v tabulce 6. Pro změření drsnosti nám postačí, aby každý vzorek měl délku obrobené plochy alespoň cca 10-15 mm.

2.2.3 Externí chlazení

Externí chlazení sloužící k dodávání PK do místa řezu se skládá z nádoby o objemu cca. 10 litrů, čerpadla vloženého uvnitř nádoby a jednoduchého potrubního systému, který pomocí pryžových hadic přivádí PK do stroje a následně po použití ji opět jímá do nádoby s čerpadlem viz obr. 11. Toto zařízení nám usnadňuje výměnu PK oproti zařízení zabudovanému ve stroji. Mezi další výhody patří malé množství PK potřebné k realizaci experimentu

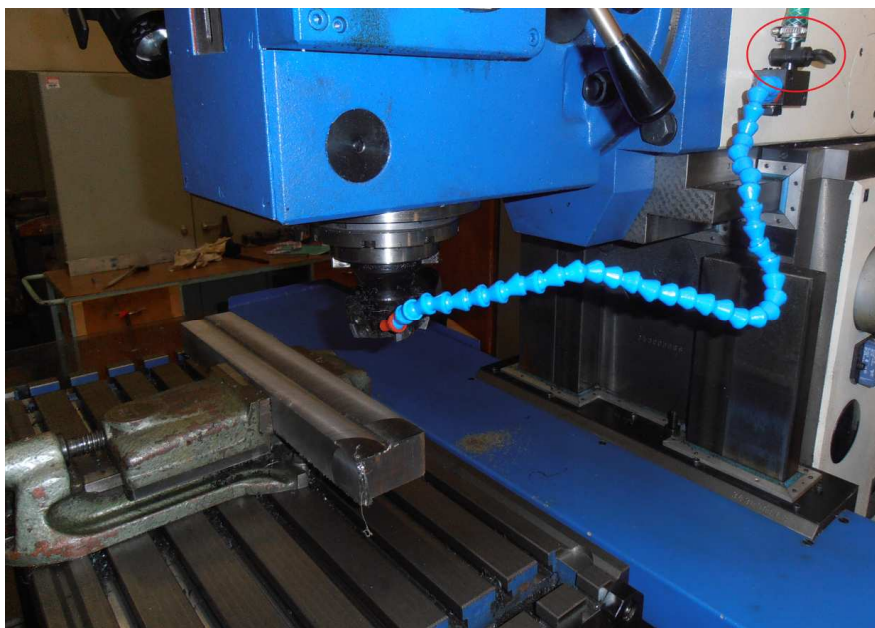
pramenící z menší nádrže externího zařízení. Nemalou výhodou je i snadnější čištění nádrže, které nám zaručí větší jistotu neznečištěného vzorku PK.



Obr. 11. Zapojení pryžových hadic odvádějících PK do nádoby externího chlazení (vlevo) a nádoba externího chlazení s čerpadlem (vpravo)

Příprava externího chlazení

Před samotným měření trvanlivosti nástroje je nutné zapojit externí zařízení. To provedeme následovně, nejdříve zapojíme pryžové hadice (přívod PK a odvod PK), které jsou součástí externího chlazení, ke stroji viz obr. 11. Těsně před měřením na stroji FNG 32 zapneme čerpadlo připojením do elektrické sítě. Množství přiváděné PK na místo řezu regulujeme pomocí ventilu, viz obr. 12.



Obr. 12. Přívod PK do místa řezu, v pravém horním rohu se nachází ventil regulující množství přiváděné PK

2.2.4 Refraktometr

Koncentrace kapalin byla kontrolována speciálním přístrojem – refraktometrem Brix 0-18% ATC, s přesností $\pm 0,15\%$. Refraktometr je vybaven ATC – automatická teplotní kompenzace, pogumovaná rukojeť zabraňuje přenosu tepla z obsluhy na přístroj, přístroj lze použít při teplotách od 10°C – 30°C . Rozsah přístroje je 0-18%, s dělením na 0,2%. Přístroj je přenosný, o délce 200 mm a hmotnosti 160 g, pipeta je součástí příslušenství.

Návod k použití:

Před každým měřením důkladně očistíme hranol od předchozích vzorků, poté nabereme pipetou vzorek a nanese 2-3 kapky testovaného roztoku na hranol přístroje. Po nanesení zaklapneme víko přístroje a počkáme cca 30 sekund, aby se vyrovnali teploty přístroje a vzorku [1]. Pro každý druh měřeného roztoku je nutné znát koeficient přepočtu refraktometru, kterým vynásobíme s odečtenou hodnotou na refraktometru, a tím získáme výslednou hodnotu hmotnostní koncentrace PK. Tento koeficient získáme následovně: vytvoříme roztok PK o určité hmotnostní koncentraci a odečteme hodnotu na refraktometru. Koeficient se rovná podílu těchto hodnot (hmot. koncentrace/hodnota na refraktometru). V našem případě se jednalo vždy o PK s koeficientem rovným 1. Přístroj je vyobrazen na obr. 13.



Obr. 13. Ruční refraktometr Brix 0-18% ATC

2.2.5 Fréza

K frézování jsme zvolili válcovou frézu o průměru 60mm osazenou jednou VBD, a to z důvodu rychlejšího opotřebení a menší spotřeby VBD.

2.2.6 Přístroj Surftest SV-2000

Tento přístroj od firmy Mitutoyo byl během měření ovládaný pomocí počítače speciálním programem surfpak 1.100.

Technické parametry:

- zdvih (rozsah osy Z): 800 mm,
- posuv (rozsah osy X): 50 mm,
- měření drsnosti, vlnitosti a primárního profilu,
- funkce automatické kalibrace se všemi snímači,
- zdvih snímače 800 μm ,
- dělení 0,0001 μm ,
- posuv volitelný (osa X) 50 mm,
- nejmenší Cut-off 0,025 mm,
- odchylka přímosti vedení 0,3 $\mu\text{m}/50\text{ mm}$ [8].



1-ruční posuv měřicího ramena v ose Z, 2-světelná stupnice

Obr. 14. Surftest SV-2000 [8]

Průběh měření drsnosti obrobeného povrchu

Měření drsnosti se provádělo v laboratoři KOM na přístroji SurfTest SV-2000 a to následovně: nejdříve byl zapnut počítač a měřicí přístroj, poté byl obrobek se vzorky položen do stabilní polohy na "rám" přístroje. Při ukládání obrobku, který měl poměrně velkou hmotnost, bylo nutné dbát zvýšené opatrnosti. Při neopatrné manipulaci by mohlo dojít ke kolizi s ramenem snímače respektive s jejím hrotem, který je dosti zranitelný. Po uložení obrobku následovalo nastavení snímače do pracovní polohy. V ose X a Y se provádělo posunutím obrobku tak, aby měřený úsek zůstal pod hrotem snímače (v ose X možno nastavit pomocí ramena přístroje). Těsně před začátkem měření nastavíme osu Z pomocí ručního posuvu umístěného na stroji viz obr. 14, a to tak, aby světelná stupnice umístěná na přístroji, viz obr. 14, svítila zeleně a byla přesně uprostřed svého rozsahu. Nyní můžeme zapnout samotné měření pomocí softwaru Surfpak. Před zpětným pohybem snímače je nutné jeho rameno mírně zvednout, aby nedocházelo ke kontaktu s plochou vzorku. Takto opakujeme každé měření 10x. Řezné podmínky při přípravě vzorků a výsledky měření jsou uvedeny v tabulkách č. 6 a 10.

Tab. 6. Důležité údaje a hodnoty související s měřením jakosti obrobeného povrchu v závislosti na PM

Stroj:	frézka FNG 32			
Zkušební vzorek:	14 220.3			
Způsob frézování:	nesousledné			
Podmínky experimentu:	šířka záběru	a_p	1	[mm]
	posuv	f	18	[mm/min.]
	otáčky vřetena	n	360	[ot./min.]
	posuv na zub	f_z	0,05	[mm/min.]
	řezná rychlost	v_c	68	[m/min.]
	koncentrace	-	4	[%]
Druh procesního prostředí:	vzduch	varianta I.		
	užitková voda*	varianta II.		
	ERO AW	varianta III.		
	ERO SB	varianta IV.		
	SK 300	varianta V.		
	EOPS UNI	varianta VI.		
Měřené parametry:	drsnost povrchu	Ra	[μm]	
Měřicí přístroje:	Surftest SV 2000			

*Jedná se o vodu z vodovodní sítě o teplotě cca 18°C

2.2.7 Vyměnitelné břitové destičky S30

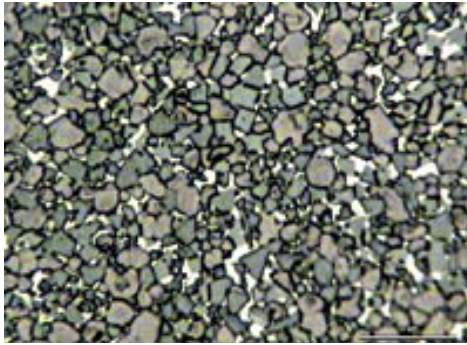
Jedná se o materiál s kubickými karbidy (typ S) vhodný pro obrábění materiálu skupiny P. Je určen pro střední a vyšší posuvy při nízké řezné rychlosti za nestabilních záběrových podmínek [9]. VBD jsou vyobrazeny na obrázcích 15-18.



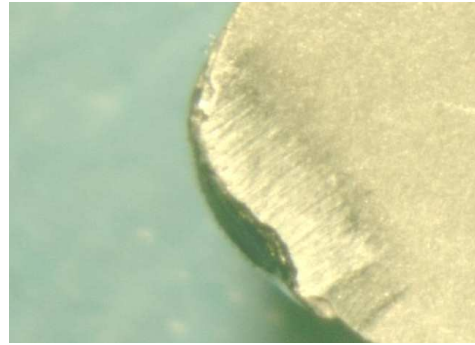
Obr. 15. VBD S30 - před měřením [9]



Obr. 16. VBD S30 - po měření [9]



Obr. 17. Struktura materiálu S30 [9]



Obr. 18. Opotřebení VBD - po měření [9]

Materiály skupiny P v souladu s normou ISO 513

- uhlíkové (nelegované) oceli třídy 10, 11, 12
- legované oceli tříd 13, 14, 15, 16
- nástrojové oceli uhlíkové (191..., 192..., 193...)
- nástrojové legované oceli (193... až 198...)
- uhlíková ocelolitina skupiny 26 (4226...)
- nízko a středně legované ocelolity skupiny 27 (4227...)
- feritické a martenzitické korozivzdorné oceli (třídy 17..., lité 4229...) [9L]

2.2.8 Nástrojová lupa Brinell typ MPB-2

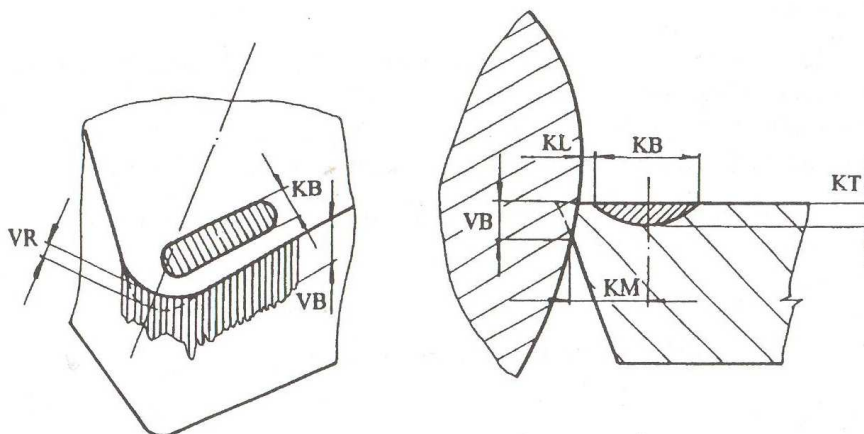
Opotřebení bylo měřeno nástrojovou lupou Brinell, při zvětšení 24x se stupnicí 0,05mm. Tento přístroj se používá pro zjišťování velikosti opotřebení nástroje, velikostí vtisků a vrypů při metodách měření tvrdostí jako je Brinell apod. Jedná se v podstatě o mikroskop, jenž má ve svém zorném poli stupnici se 130 dílky, odpovídající velikosti 0,05 mm. Z toho vyplývá, že přístroj je schopný měřit objekty do velikosti 6,5 mm. Jeho zorné pole má průměr 9 mm [23].

Návod k použití:

Do spodní části nástrojové lupy vložíme zkoumaný objekt (v našem případě VBD), poté zaostříme a odčítáme potřebnou délku (v našem případě opotřebení) [23]. Při měření trvanlivosti zjišťujeme šířku opotřebené plochy na hřbetu, viz obr. 20. Nástrojová lupa Brinell je vyobrazena na obr. 19.



Obr. 19. Nástrojová lupa Brinell typ MPB-2 (zvětšení 24x) se stupnicí 0.05 mm



VB-šířka opotřeбенé plochy na hřbetu, KT-hloubka žlábků na čele, KB-šířka žlábků na čele, KL-vzdálenost od ostří k okraji žlábků, KM-vzdálenost od ostří ke středu žlábků, VR-radiální otupení

Obr. 20. Délkové charakteristiky otupení bříty obráběcího nástroje [5]

2.2.9 Statistické vyhodnocení výsledků měření trvanlivosti nástroje v závislosti na použitém PM

Naměřené výsledky byly statisticky vyhodnoceny dle normy ČSN ISO 8688-1 a za pomoci speciálních tabulek zhotovených v programu MS Excel vytvořených vedoucím této BP. Výsledkem vyhodnocení byly intervaly hodnot zobrazené v tabulce č. 8. Každý interval udává, že pokud provedeme za stejných podmínek dalších 5 měření, tak střední hodnota ze souboru měření bude s pravděpodobností 95% v tomto intervalu. Dále bylo hodnoceno, jak statisticky významné byly rozdíly v kvalitě obrobeného povrchu mezi jednotlivými procesními médii. Toto hodnocení proběhlo následovně: aby bylo možné porovnat zkoušky dvou nebo více výsledků, je nutné určit aritmetické hodnoty jednotlivých opakování zkušebních testů pro každou zkušební podmínku. Symbol x je použit jako označení výsledku testu. V tomto případě reprezentuje trvanlivost T.

Výsledkem je střední hodnota \bar{x} :

$$\bar{x}_i = \sum_{i=1}^n x_i / n .$$

Dále se vypočítá normalizovaná odchylka s:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} .$$

Statistický interval spolehlivosti definovaný jako interval, v rámci kterého výsledky dalšího zkušebního testu budou umístěné s předpokládanou pravděpodobností, se vypočítá jako střední hodnota $\bar{x} \pm$ její variace:

$$\bar{x}_{\max} = \bar{x} + t \sqrt{\frac{s}{n-1}} ,$$

$$\bar{x}_{\min} = \bar{x} - t \sqrt{\frac{s}{n-1}} ,$$

t je konstanta získaná z tabulky pro úroveň spolehlivosti 95, 99 a 99,9% viz norma ČSN ISO 8688-1. Hodnoty t jsou závislé na počtu zkušebních testů. Kontrolu, zda existuje mezi výsledky dvou sérií zkoušek podstatný rozdíl můžeme provést dle vzorce:

$$|t_{\alpha}| = \frac{(\bar{x}_A - \bar{x}_B)}{\sqrt{\frac{n_A \times s_A^2 + n_B \times s_B^2}{n_A + n_B - 2} \times \left(\frac{1}{n_A} + \frac{1}{n_B} \right)}}$$

Písmena A a B značí dvě série zkoušek. Získaná hodnota $|t_{\alpha}|$ se porovnává se související hodnotou t. Po porovnání těchto hodnot lze vyvodit závěr, zda existuje značný rozdíl pro zvolenou hladinu spolehlivosti.

Zmíněné statistické výpočty platí, jestliže:

- a) měření jsou statisticky nezávislé,
- b) zkoušky byly prováděny takovým způsobem, že se při nich nemohly vyskytnout žádné systematické chyby.

Podrobnější informace o provedených statistických výpočtech lze nalézt v normách ČSN ISO 8688-1. Výsledky vyhodnocení statistické významnosti vlivu PM na trvanlivost nástroje jsou uvedeny v tabulce 9.

2.2.10 Statistické vyhodnocení výsledků měření drsnosti obrobeného materiálu v závislosti na použitém PM

Postup při statistickém vyhodnocení výsledků měření drsnosti obrobeného materiálu v závislosti na použitém prostředí proběhl stejným způsobem, jako tomu bylo u statistického vyhodnocení měření trvanlivosti nástroje v závislosti na použitém procesním médiu. Postup při realizaci statistického vyhodnocení se nachází v kapitole 3.2 respektive v normě ČSN ISO 8688-1. Výsledky provedených statistických vyhodnocení jsou uvedeny v tabulkách 11 a 12.

3 Experimentální část

3.1 Výsledky měření trvanlivosti nástroje v závislosti na použitém PM

Při měření trvanlivosti nástroje v závislosti na použitém procesním médiu byly použity řezné podmínky a přístroje uvedené v tabulce 5. V tabulce 7 jsou uvedeny výsledky měření jednotlivých procesních médií. Každé z měření bylo opakováno 5x a následně z něj byl vytvořen aritmetický průměr. Hodnota trvanlivosti je vždy zaokrouhlována na minuty. Na obrázku 21 je vyobrazen graf závislosti trvanlivosti nástroje na použitém procesním médiu.

Tab. 7. Výsledky měření trvanlivosti nástroje v závislosti na použitém procesním prostředí

Č. měření	Trvanlivost [min.]					
	SK 300	ERO SB	EOPS UNI	ERO AW	Užitková voda	Vzduch
1	12	48	51	22	25	60
2	12	32	63	29	24	32
3	28	28	42	25	15	43
4	15	26	32	22	15	32
5	17	22	22	24	33	32
průměr	17	31	42	24	22	40

3.2 Výsledky statistického vyhodnocení měření trvanlivosti nástroje v závislosti na použitém PM

Při statistickém vyhodnocení měření trvanlivosti nástroje v závislosti na použitém PM, *byly zjištěny hodnoty intervalů trvanlivosti (viz předchozí kapitoly) v tab. 8 a jejich statistická významnost v tab. 9. Vzhledem k malému počtu opakování měření zapříčiněným z časových důvodů jsou tyto hodnoty ve většině případů statisticky nevýznamné.

Tab. 8. Statistické vyhodnocení výsledků měření trvanlivosti nástroje v závislosti na použitém procesním médiu

Procesní médium	Výsledný interval T [min]
SK 300	$16,8 \pm 9,177$
ERO SB	$31,2 \pm 13,965$
EOPS UNI	$42 \pm 22,189$
ERO AW	$24,4 \pm 3,999$
Užitková voda	$22,4 \pm 10,554$
Vzduch	$39,8 \pm 17,013$

Tab. 9. Vyhodnocení statistické významnosti rozdílů při měření trvanlivosti nástroje v závislosti na použitém procesním médiu

PK	SK 300	ERO SB	EOPS UNI	ERO AW	užitková voda	vzduch
SK 300	-	nevýznamný	významný	nevýznamný	nevýznamný	významný
ERO SB	nevýznamný	-	nevýznamný	nevýznamný	nevýznamný	nevýznamný
EOPS UNI	významný	nevýznamný	-	nevýznamný	nevýznamný	nevýznamný
ERO AW	nevýznamný	nevýznamný	nevýznamný	-	nevýznamný	nevýznamný
užitková voda	nevýznamný	nevýznamný	nevýznamný	nevýznamný	-	nevýznamný
vzduch	významný	nevýznamný	nevýznamný	nevýznamný	nevýznamný	-

3.3 Výsledky měření drsnosti obrobeného materiálu v závislosti na použitém PM

Při měření drsnosti obrobeného materiálu v závislosti na použitém procesním médiu byly použity řezné podmínky a přístroje uvedené v tabulce 6. V tabulce 10 jsou uvedeny výsledky měření hodnoty R_a při použití jednotlivých procesních médií. Na obrázku 22 je vyobrazen graf závislosti drsnosti obráběného povrchu na použitém pracovním prostředí. Každé z měření bylo opakováno 10x a následně z něj byl vytvořen aritmetický průměr. Hodnota drsnosti je zaokrouhlována na 0,01 μm . Výsledky měření jsou v následující kapitole statisticky vyhodnocovány.

Tab. 10. Naměřené průměrné aritmetické úchylky posuzovaného profilu

Drsnost R_a [μm]						
číslo měření	Varianta měření					
	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.
1	1,27	1,11	0,85	0,92	0,91	0,91
2	1,22	1,19	0,79	0,93	0,93	0,89
3	1,26	1,13	0,88	0,98	0,95	0,91
4	1,21	1,03	0,76	0,94	0,95	0,88
5	1,16	1,17	0,80	0,97	0,97	0,90
6	1,22	1,08	0,82	0,97	0,97	0,93
7	1,14	1,07	0,83	0,98	0,94	0,91
8	1,25	1,09	0,79	0,96	0,98	0,93
9	1,11	1,01	0,85	0,90	0,93	0,93
10	1,27	1,01	0,79	0,94	0,96	0,92
průměr	1,21	1,09	0,81	0,95	0,95	0,91

3.4 Výsledky statistického vyhodnocení měření drsnosti obrobeného materiálu v závislosti na použitém PM

Při statistickém vyhodnocení měření drsnosti obrobeného materiálu v závislosti na použitém PM, byly zjištěny hodnoty intervalů parametru drsnosti R_a (viz předchozí kapitoly) v tab. 11 a jejich statistická významnost v tab. 12.

Tab. 11. Výsledky statistického vyhodnocení měření drsnosti obrobeného povrchu v závislosti na použitém procesním médiu

Procesní médium	Varianta měření	Výsledný interval R_a [μm]
Vzduch	I.	$1,211 \pm 0,043$
Užitková voda	II.	$1,087 \pm 0,048$
ERO AW	III.	$0,816 \pm 0,028$
ERO SB	IV.	$0,949 \pm 0,021$
SK 300	V.	$0,947 \pm 0,016$
EOPS UNI	VI.	$0,911 \pm 0,013$

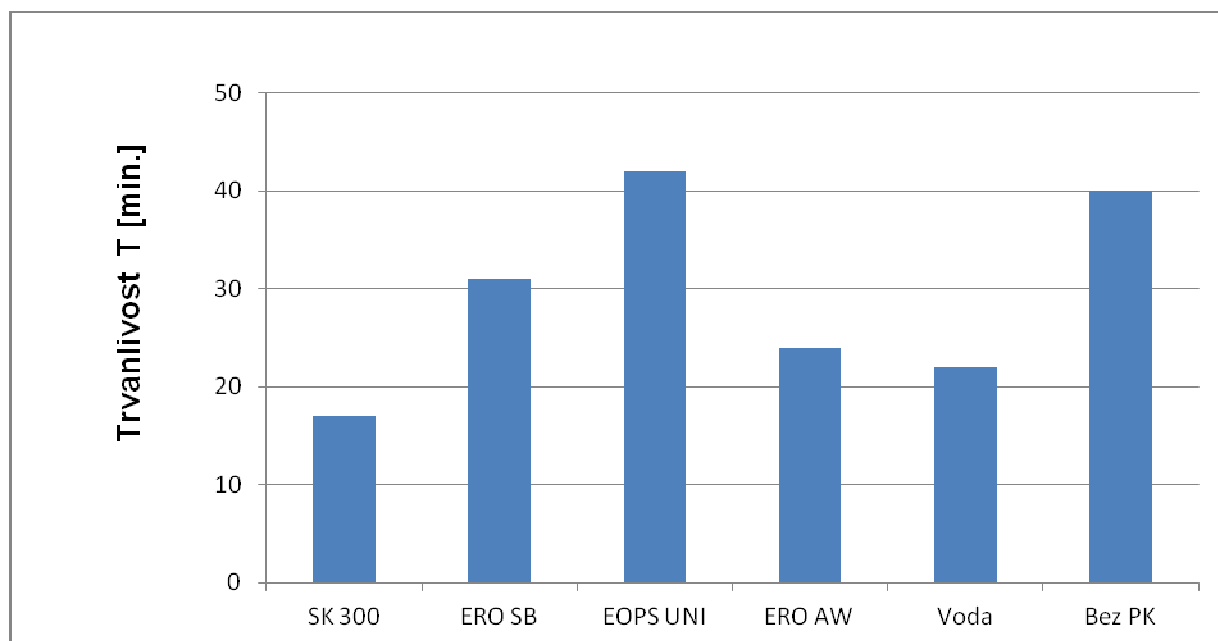
Tab. 12. Vyhodnocení statistické významnosti rozdílů v jakosti obrobených povrchů při použití různých procesních médií

Varianta	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.
I.	-	dost významný	velmi významný	velmi významný	velmi významný	velmi významný
II.	dost významný	-	velmi významný	velmi významný	velmi významný	velmi významný
III.	velmi významný	velmi významný	-	velmi významný	velmi významný	velmi významný
IV.	velmi významný	velmi významný	velmi významný	-	nevýznamný	dost významný
V.	velmi významný	velmi významný	velmi významný	nevýznamný	-	dost významný
VI.	velmi významný	velmi významný	velmi významný	dost významný	dost významný	-

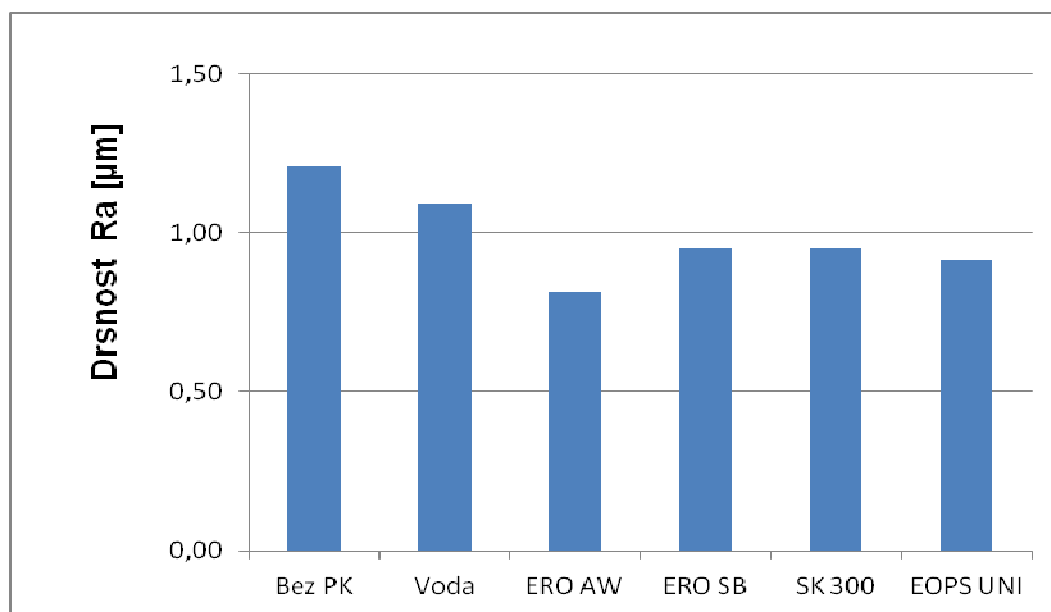
4 Porovnání naměřených hodnot

Experimentální část se zabývala vlivem jednotlivých vodou mísitelných PK od firmy PARAMO a.s. na proces obrábění, přesněji na a) trvanlivost nástroje, b) jakost (drsnost) obrobeného povrchu. Kromě 4 zkoumaných PK (PARAMO SK300, PARAMO ERO SB, PARAMO ERO AW, EOPS UNI) byly do experimentu zahrnuty ještě 2 jiná procesní média (užitková voda a vzduch) z důvodu lepšího posouzení, zda mají testované PK pozitivní či negativní vliv na zkoumaná kritéria.

První část měření se zabývala vlivem procesního média na trvanlivost nástroje. Jak už bylo v předchozích kapitolách zmíněno, a je z názvu patrné, vodou mísitelné procesní kapaliny jsou tvořeny z velké části vodou. Při našem experimentu tomu bylo 96% hmotnosti PK, proto se jeví jako vhodné srovnávat PK právě s užitkovou vodou. Při porovnání námi zkoušených PK s užitkovou vodou se tedy testovaly především účinky aditiv na trvanlivost nástroje. Užitková voda se v praxi jako PK nepoužívá, zde slouží pouze jako určité porovnání. Nicméně její trvanlivost můžeme považovat za jakousi hranici pozitivního či negativního vlivu aditiv. Jako další porovnávací médium byl zvolen také vzduch, a to z důvodu zjištění, zda je pro trvanlivost nástroje výhodnější obrábění s použitím PK nebo obrábění „na sucho“. Při použití vzduchu bylo dosaženo podstatně vyšší trvanlivosti, nežli tomu bylo u užitkové vody, tento jev je blíže vysvětlen v závěru BP. Celkově nejlepších výsledků v hodnocení trvanlivosti nástroje za použití procesních kapalin však bylo zjištěno u PK PARAMO EOPS UNI, druhá nejlepší hodnota byla naměřena u PK PARAMO ERO SB. Třetí nejvyšší hodnoty se se dosáhlo s PK PARAMO ERO AW. Nejnižší trvanlivost byla zjištěna u PK PARAMO SK 300. Při porovnání s užitkovou vodou se ukázalo, že všechny PK s výjimkou kapaliny PARAMO SK 300, u které bylo dosaženo nepatrně nižší trvanlivosti, měli pozitivní vliv na trvanlivost nástroje. Z toho můžeme usuzovat, že aditiva obsažená v PK mají pozitivní vliv na trvanlivost nástroje. V případě porovnání vlivu vzduchu a PK na trvanlivost nástroje se ukázalo, že kromě kapaliny PARAMO EOPS UNI mají PK negativní vliv na danou problematiku, a to především díky velkým tepelným rázům vznikajícím při použití kapalného PM. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tab. 7. Graf porovnávající aritmetické průměry naměřených hodnot trvanlivosti v závislosti na použitém PM je vyobrazen na obr. 21. V druhé části měření byl zkoumán vliv procesního prostředí na drsnost obrobeného povrchu. Zde PK jednoznačně ukázaly, že mají na jakost obrobeného povrchu pozitivní vliv. Nejlepších výsledků, co se týče jakosti obrobeného povrchu, bylo získáno při testování PK PARAMO ERO AW, druhá nejlepší hodnota byla naměřena u PK PARAMO EOPS UNI. U PK PARAMO ERO SB a PARAMO SK 300 bylo dosaženo téměř shodných výsledků. Při použití užitkové vody byla zjištěna vyšší hodnota R_a obrobeného povrchu než u všech námi testovaných PK, což poukazuje na pozitivní vliv aditiv na jakost obrobeného povrchu. Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu naměřená při obrábění bez použití PK, tedy tzv. „za sucha“, byla nejvyšší ze všech provedených měření. Jde tedy o znatelný pokles jakosti povrchu oproti zkoušeným PK. Z toho lze vyvodit závěr, že PK mají pozitivní vliv na jakost obrobeného materiálu.



Obr. 21. Závislost trvanlivosti nástroje na použitém procesním médiu



Obr. 22. Závislost drsnosti obráběného povrchu na použitém pracovním médiu

Naměřené hodnoty průměrných aritmetických úchylek Ra posuzovaného profilu jsou uvedeny v tab. 10. Graf porovnávající aritmetické průměry naměřených hodnot Ra v závislosti na použitém PM je vyobrazen na obr. 22.

Při měření trvanlivosti nástroje i jakosti obroběného povrchu v závislosti na PM bylo také použito statistického vyhodnocení výsledků. Kromě aritmetického průměru se rovněž zjišťoval interval, který udával, že střední hodnota ze souboru při provedení dalších 10 (u vyhodnocení jakosti povrchu) respektive 5 (u vyhodnocení trvanlivosti nástroje) měření za stejných podmínek, se bude nacházet, s pravděpodobností 95%, v tomto intervalu. Dále se zjiš-

řovala, zda jsou rozdíly výsledků mezi jednotlivými variantami měření statisticky významné. Statistické hodnocení probíhalo dle normy ČSN ISO 8688-1, a je popsáno v kapitolách 2.2.9 a 2.2.10. Výsledky statistického vyhodnocení jsou uvedeny v tabulkách 8,9,11 a 12.

5 Závěr

V této BP jsou shromážděny, porovnány a vyhodnoceny dostupné zkušební metodiky pro ověření vlivu PK na proces obrábění. Také byla provedena rešerše dostupné literatury zabývající se problematikou PK, jak bylo požadováno zadavatelem Paramo a.s.

V rámci řešení byl navržen postup měření a následného vyhodnocení experimentu zkoumajícího:

- a) vliv použitého procesního prostředí na trvanlivost nástroje při nesousledném frézování,
- b) vliv použitého procesního prostředí na drsnost obrobeného materiálu při nesousledném frézování.

Podrobné informace o provedených experimentech, včetně popisu jednotlivých strojů a přístrojů, jsou uvedeny v kapitole „Návrh metodiky“. Výsledky měření jsou uvedeny v tabulkách č. 7, 10 a na obr. 21,22.

Pro experimenty měření trvanlivosti nástroje v závislosti na použitém procesním médiu a měření drsnosti obrobeného materiálu v závislosti na použitém procesním médiu byly vybrány 4 vodou mísitelné PK od firmy PARAMO, a.s., kromě toho byla vybrána ještě 2 procesní média z důvodů lepšího vyhodnocení vlivu PK na zkoumané parametry, a to vzduch a užitková voda. Tato dvě procesní média sloužila k jakémusi porovnání, zda mají PK kladný respektive záporný vliv na trvanlivost nástroje a jakost obrobeného povrchu. Kriteria zkoušek byly hodnoty:

- a) trvanlivosti T, při měření trvanlivosti nástroje závislosti na použitém PM,
- b) průměrné aritmetické úchytky posuzovaného profilu Ra, při měření drsnosti obrobeného materiálu v závislosti na PM.

V první části experimentu byl zkoumán vliv procesních médií na trvanlivost nástroje při nesousledném frézování. Toto měření bylo prováděno na stroji FNG 32 v laboratoři obrábění KOM. Opotřebení nástroje bylo měřeno za pomoci nástrojové lupy Brinell typ MPB-2.

Druhá část experimentu se zabývala vlivem procesních médií na jakost obrobeného povrchu při nesousledném frézování. Vzorky pro experimenty frézování byly také zhotoveny na stroji FNG 32. Po obrábění bylo prováděno měření drsnosti povrchu na přístroji Surf-test SV-2000 v metrologické laboratoři.

Při porovnání PK mezi sebou jsme dospěli k následujícímu závěru. Na základě námi naměřených hodnot se PARAMO EOPS UNI jeví jako nejlepší ze všech testovaných PK. Dosahuje nejvyšší hodnoty trvanlivosti, dokonce vyšší nežli je tomu při obrábění „na sucho“. V hodnocení vlivu procesního média na jakost obrobeného povrchu se umístila jako druhá. O druhé a třetí místo se dělí procesní kapaliny PARAMO ERO AW a PARAMO ERO SB. PK PARAMO ERO AW dosahuje nejlepších výsledků, co se týče vlivu na jakost obrobeného povrchu. V dosažené trvanlivosti nástroje však skončila až třetí se zhruba poloviční hodnotou oproti PK s nejvyšší naměřenou trvanlivostí nástroje PARAMO EOPS UNI. Při použití PK PARAMO ERO SB byla naměřena nejvyšší hodnota drsnosti obrobeného povrchu (nejhorší výsledek), co se týče PK. Trvanlivost nástroje při použití této PK byla naměřena druhá nej-

vyšší. Nejhorší parametry vykazovala PK PARAMO SK 300, při jejím použití byla naměřena nejnižší trvanlivost nástroje a druhá nejhorší jakost obrobeného povrchu.

V případě zkoumání vlivu procesních médií na jakost obrobeného povrchu bylo zjištěno, že všechny testované PK mají pozitivní vliv na danou problematiku. Tento výsledek poukazuje na vyšší chladicí a mazací schopnosti PK oproti obrábění „na sucho“ respektive při použití užitkové vody jako procesního média. Užitková voda v tomto testu vykazovala lepší výsledky nežli vzduch, což potvrzuje pozitivní vliv procesních médií na bázi vody.

Při hodnocení vlivu procesních médií na trvanlivost nástroje při čelním frézování PK byly dosaženy různé výsledky, ale jejich vliv byl převážně negativní. Tento fakt je pravděpodobně způsoben vlivem dynamických změn teplot vniklých při nerovnoměrném chlazení pomocí PK [19]. U třech PK došlo ke znatelnému poklesu trvanlivosti nástroje, pouze při použití PK PARAMO EOPS UNI byl zaznamenán velmi zajímavý výsledek, a to nárůst trvanlivosti oproti obrábění „na sucho“. Tento výsledek dokazuje, že vliv dynamických změn teplot lze kompenzovat jinými pozitivními vlastnostmi PK.

Během vyhodnocování vlivu použitého procesního prostředí na drsnost obrobeného materiálu i trvanlivost nástroje při nesousledném frézování bylo využito statistického vyhodnocení dle normy ČSN ISO 8688-1, kde se u jednotlivých výsledků měření zjišťoval interval, který udává, že pokud provedeme za stejných podmínek dalších 10 (u vyhodnocení jakosti povrchu) respektive 5 (u vyhodnocení trvanlivosti nástroje) měření, tak střední hodnota ze souboru měření bude s pravděpodobností 95% v tomto intervalu. Dále bylo statisticky vyhodnoceno, zdali jsou rozdíly mezi jednotlivými výsledky měření statisticky významné.

Intervaly zjištěné statistickým vyhodnocením jsou uvedeny v tab. 8 a 11. Z tab. 9 a 12 lze vyčíst, jak statisticky významné jsou rozdíly mezi provedenými měřeními.

Při statistickém vyhodnocení bylo zjištěno, že rozdíly mezi jednotlivými výsledky měření trvanlivosti nástroje v závislosti na použitém PM jsou z velké části statisticky nevýznamné, vliv na tuto skutečnost mají poměrně velké intervaly výsledků, viz tab. 8. Naopak při statistickém vyhodnocení výsledků měření jakosti obrobeného povrchu v závislosti na použitém PM je patrné, že rozdíly mezi jednotlivými měřeními jsou z velké části statisticky dost významné nebo velmi významné (blíže viz norma ČSN ISO 8688-1). Tyto výsledky mohou být ovlivněny počtem prováděných měření. V případě měření trvanlivosti nástroje v závislosti na použitém PM bylo provedeno 5 experimentů pro každé použité PM, zatímco při zjišťování jakosti obrobeného povrchu v závislosti na použitém PM bylo provedeno testů 10.

V celkovém hodnocení obou experimentů se ukázalo, že PK mají pozitivní vliv především na jakost obrobeného povrchu, což může v některých případech ušetřit náklady za případné dokončovací operace, které díky nižší dosažené drsnosti nemusí být vůbec prováděny. Co se týče trvanlivosti nástroje, výsledky ukázaly, že s negativním vlivem tepelných rázů, jak ukázala PK PARAMO EOPS UNI, se lze vypořádat.

Experimenty prokázaly, že některé PK se lépe umístily při hodnocení vlivu na trvanlivost nástroje a některé při hodnocení kvality obrobeného povrchu. Z těchto důvodů je nutné hodnotit PK s ohledem na jejich budoucí využití.

Výsledky této bakalářské práce poukázaly na to, jakým způsobem PK ovlivňují trvanlivost nástroje a jakost obrobené plochy. Výsledky obou prováděných měření ukázaly značné

rozdíly mezi jednotlivými PK, zvláště při měření trvanlivosti nástroje v závislosti na použitém procesním prostředí byly značné rozdíly v hodnotách aritmetických průměrů různých PM. Pro podrobnější prozkoumání vlivu PK na drsnost obráběného povrchu a trvanlivost nástroje by bylo nutné provést větší množství zkoušek.

Seznam použité literatury

1. ATC ruční refraktometry. HELAGO-CZ s.r.o. cit. [cit. 28. března 2012]. Dostupné na: <http://www.helago-cz.cz/public/content-images/cz/product/13650.pdf>
2. BARTUŠEK, T., JERSÁK, J. Metoda MQL a její vliv na technologické parametry procesu broušení. *Strojírenská technologie*. Rec. prof. Mádl. 14. roč., březen 2009, č. 1. s. 12 - 18. ISSN 1211-4162.
3. BARTUŠEK, T. *Účinky procesní kapaliny na technologii broušení a kvality obroběných součástí. [Diplomová práce]*. Liberec, TU Liberec, 2008. 67 s.
4. BENEŠ, P. *Chladicí a mazací schopnost procesních kapalin při obrábění. [Diplomová práce]*. Liberec, TU v Liberci, 2009. 78 s.
5. BILÍK, O. MÁDL, J. *Trvanlivost břitu a provozní spolehlivost obráběcího nástroje*. 1. vyd. Ústí nad Labem : UJEP, 2001. 86s., Knihovnička, 2001. ISBN 80- 7044- 389-8.
6. BUMBÁLEK, B., OŠTÁDAL, B., ŠAFR, E. *Řezné kapaliny*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1963. 136 s. ISBN -.
7. *Databáze materiálů*, Vysoké učení technické v Brně. [cit. 28. března 2012]. Dostupné na: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/databaze_modelu_soubory/ocel_14220.pdf
8. *Drsnoměry-měření drsnosti povrchu*. Mitutoyo Česko s.r.o. [cit. 28. března 2012]. Dostupné na: http://www.mitutoyo-czech.cz/sk/pdf/06_drsnomery.pdf
9. *Katalog frézování*. GM Technik s.r.o. [cit. 28. března 2012]. Dostupné na: <http://www.gmtechnik.cz/naradi-stroje/nastroje-brusivo-meridla/pramettools.htm>
10. *Měření ochlazovací rychlosti kalicích médií -Quench test*. TU Liberec [cit. 28. března 2012]. Dostupné na: http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady_kmt_bakalari/TZZ/cv%20quench.PDF
11. NOVAK,P. *Návrh metodiky hodnocení procesních kapalin při osových operacích. Obrábění [Disertační práce]*. Praha, ČVUT Praha, 2005. 142 s.
12. PARAMO, a.s., Pardubice: Technické informace. [B. r.].
13. POHOŘALÝ, M., JERSÁK, J. Výzkum vybraných parametrů jakosti broušeného povrchu v závislosti na povaze použitého chladicího média. *Strojírenská technologie*. Rec. F. Holešovský. Prosinec 2003, 8, č. 4. s. 4 - 8. ISSN 1211-4162.

14. *Prodloužení životnosti řezných kapalin*. MM Průmyslové spektrum [cit. 28. března 2012]. Dostupné na: <http://www.mmspektrum.com/clanek/prodlouzeni-zivotnosti-reznych-kapalin>.
15. STŘELCOVÁ, R. *Řezné kapaliny a jejich uplatnění v moderní výrobě: [Bakalářská práce]*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2008. 48s.
16. ŠAFR, E. DYK, A. *Technika mazání v průmyslových závodech*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1956. 425 s. ISBN-.
17. ŠTĚPINA, V. VESELÝ, V. *Maziva v tribologii*. 1. vyd. Bratislava: Veda, 1985. 406 s. ISBN-.
18. *Testování olejů -Reichert*. Vysoká škola chemicko-technologická v praze [cit. 28. března 2012]. Dostupné na : <http://cesmina.vscht.cz/trp/images/Dokuments/Navody-na-laboratore/Reichert.pdf>.
19. TOMIS, J. *Vliv velikosti zaoblení ostří na trvanlivost VBD: [Bakalářská práce]*. Brno, Vysoké učení technické v Brně, 2008. 51 s.
20. *Top trendy v obrábění - VI. část - Procesné médiá (příručka)*. ČILLÍKOVÁ, M., aj. Žilina: MEDIA/ST, s.r.o., Január 2008. ISBN 978-80-969789-3-9.
21. *Výrobní program*. TOS Olomouc. [cit. 28. března 2012]. Dostupné na: <http://www.tos-olomouc.cz/oc-cz/vyrobní-program/>.
22. *Řezné oleje pro extrémní výkony*. MM Průmyslové spektrum. [cit. 28. března 2012]. Dostupné na: <http://www.mmspektrum.com/clanek/rezne-oleje-pro-extremni-vykony>.
23. *'Zenith' UK branded Russian microscopes of the 1970s-1990s*. David Walker. [cit. 28. března 2012]. Dostupné na: <http://www.microscopy-uk.org.uk/mag//artaug10/dw-TOE-Lomo.html>

Seznam příloh

Příloha 1 – Technické informace PK PARAMO SK 300	1 strana
Příloha 2 – Bezpečnostní list PK PARAMO SK 300	6 stran
Příloha 3 – Technické informace PK PARAMO ERO SB	1 strana
Příloha 4 – Bezpečnostní list PK PARAMO ERO SB	5 stran
Příloha 5 – Technické informace PK PARAMO EOPS UNI	1 strana
Příloha 6 – Bezpečnostní list PK PARAMO EOPS UNI	6 stran
Příloha 7 – Technické informace PK PARAMO ERO AW (návrh)	1 strana
Příloha 8 – Bezpečnostní list PK PARAMO ERO AW	6 stran